8b
QC
863
.T75
1896

Sammlung Göschen

Meteorologie

von

Dr. W. Trabert

Mit 48 Abbildungen u. Karten

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

1—9 **Klassiker-Ausgaben** mit Anmerkungen erster Lehrkräfte und Einleitungen von K. Goedeke.

1. Klopstocks Oden in Auswahl. 3. Aufl. 2. Lessings Emilia Galotti. 2. Aufl. 3. Lessings Fabeln nebst Abhandlungen. 3. Aufl. 4. Lessings Laokoon. 3. Aufl. 5. Lessings Minna von Barnhelm. 2. Auflage. 6. Lessings Nathan der Weise. 5. Auflage. 7. Lessings Prosa. Fabeln. Abhandl. üb. Kunst u. Kunstwerke. Dramaturg. Abhandl. Theologische Polemik. Philosoph. Gespräche. Aphorismen. 2. Aufl. 8. Lessings litterarische u. dramaturg. Abhandl. 9. Lessings antiquar. u. epigrammat. Abhandl.

10a **Der Nibelunge Nôt** und Mittelhochdeutsche Grammatik von Prof. Dr. Golther. 3. verm. Auflage.

10b **Kudrun und Dietrichepen** in Ausw. Mit Einltg. u. Wörterbuch v. Dr. O. L. Jiriczek. 3. verm. Aufl.

11 **Astronomie** von A. F. Möbius. 8. Auflage. 30 Fig.

12 **Pädagogik** von Prof. Dr. Rein. 2. Auflage.

13 **Geologie** von Dr. E. Fraas. Mit 66 Textfig. 2. Auflage.

14 **Psychologie und Logik.** Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Elsenhans. 3. Auflage.

15 **Deutsche Mythologie.** Von Prof. Dr. F. Kauffmann. 2. Aufl.

16 **Griechische Altertumskunde** von Dr. R. Maisch. Mit 8 Vollbildern.

17 **Aufsatz-Entwürfe** v. Prof. Dr. L. W. Straub. 2. Aufl.

18 **Menschliche Körper,** der. v. Realschuldir. Rebmann mit Gesundheitslehre von Dr. Seiler. Mit 48 Abbildungen. 2. Aufl.

19 **Römische Geschichte** von Gymn.-Rektor Dr. Bender.

20 **Deutsche Grammatik** und Geschichte der deutschen Sprache von Dr. O. Lyon. 3. Auflage.

21 **Lessings Philotas** und die Poesie des 7j. Krieges. Ausw. v. Prof. O. Güntter.

22 **Hartmann von Aue,** Wolfram v. Eschenbach u. Gottfr. von Straßburg. Auswahl aus dem höfischen Epos von Dr. K. Marold.

23 **Walther v. d. Vogelweide** mit Ausw. aus Minnesang und Spruchdichtung von Prof. O. Güntter. 3. Aufl.

24 **Seb. Brant, Luther,** Hans Sachs, Fischart m. Dichtungen des 16. Jahrh. von Dr. L. Pariser.

25 **Kirchenlied u. Volkslied.** Geistl. u. weltl. Lyrik d. 17. u. 18. Jahrh. bis Klopstock von Dr. G. Ellinger.

26 **Physische Geographie** von Prof. Dr. Siegm. Günther. Mit 32 Abbildungen. 2. verm. Aufl.

27 **Griechische u. Römische Mythologie** v. Dr. H. Steuding.

28 **Althochdtsche Litteratur** m. Grammatik, Uebersetzung u. Erläuterungen v. Prof. Th. Schauffler. 2. Aufl.

29 **Mineralogie** v. Dr. K. Brauns, Professor an der Universität Gießen. Mit 130 Abb.

30 **Kartenkunde** v. Dir. d. nautischen Schule C. Gelcich u. Prof. F. Sauter. Mit gegen 100 Abbild.

31 **Deutsche Litteraturgeschichte** von Max Koch, Professor an der Universität Breslau. 2. Aufl.

Sammlung Göschen.

Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

32 **Deutsche Heldensage** von Dr. O. L. Jiriczek.

33 **Deutsche Geschichte** im Mittelalter von Dr. F. Kurze.

36 **Herder, Cid.** Herausg. von Dr. E. Naumann.

37 **Chemie, anorganische** von Dr. Jos. Klein.

38 **Chemie, organische** von Dr. Jos. Klein.

39 **Zeichenschule** mit 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck und 200 Voll- und Textbildern von K. Kimmich. 3. Auflage.

40 **Deutsche Poetik** von Dr. K. Borinski

41 **Geometrie** von Prof. Mahler. Mit 115 zweifarb. Fig.

42 **Urgeschichte der Menschheit** von Dr. M. Hörnes. Mit 48 Abbildgn.

43 **Geschichte des alten Morgenlandes** von Prof. Dr. Fr. Hommel. Mit 6 Bildern und 1 Karte.

44 **Die Pflanze**, ihr Bau u. ihr Leben v. Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen.

45 **Römische Altertumskunde** von Dr. Leo Bloch. Mit 7 Vollbildern.

46 **Das Waltharilied** im Versmaße der Urschrift übersetzt u. erl. v. Prof. Dr. H. Althof.

47 **Arithmetik u. Algebra** von Prof. Dr. H. Schubert.

48 **Beispielsammlung zur „Arithmetik u. Algebra"** von Prof. Dr. H. Schubert.

49 **Griechische Geschichte** von Prof. Dr. H. Swoboda.

50 **Schulpraxis** von Schuldirektor R. Seyfert.

51 **Mathem. Formelsammlung** v. Prof. O. Bürklen. Mit 17 Fig.

52 **Römische Litteraturgeschichte** von Herm. Joachim.

53 **Niedere Analysis** von Dr. Benedikt Sporer. Mit 5 Fig.

54 **Meteorologie** von Dr. W. Trabert. Mit Abbild. und Karten.

55 **Das Fremdwort im Deutschen** von Dr. Rud. Kleinpaul.

56 **Dtsche. Kulturgeschichte** von Dr. Reinh. Günther.

57 **Perspektive** v. Hans Freyberger. Mit ganzs. Ill.

58 **Geometrisches Zeichnen** von Hugo Becker. Mit ganzseit. Illustr.

59 **Indogermanische Sprachwissenschaft** von Prof. Dr. R. Meringer.

Urteile der Presse über „Sammlung Göschen".

Die Lehrerin in Schule u. Haus: Die handlichen Büchlein, welche zur Sammlung Göschen gehören, zeichnen sich nicht nur durch ihre gediegene Ausstattung und sehr billigen Preis, sondern mehr noch durch ihren Inhalt aus. Es ist geradezu erstaunlich, welch eine Fülle von Stoff auf wenigen Seiten hier zusammengedrängt ist! Und dabei sind die Arbeiten bis in alle Einzelheiten hinein durchaus zuverlässig und stehen in Uebereinstimmung mit den neuesten Ergebnissen der Wissenschaft. Gereiftere Schüler und Schülerinnen höherer Lehranstalten, sowie auch solche, die sich durch Selbststudium bilden wollen, machen wir auf diese Sammlung abermals nachdrücklich aufmerksam.

Lehrerzeitg. f. Thüringen u. Mitteldeutschland: „Diese **dauerhaft und elegant gebundenen** kleinen Bücher mit dem sehr handlichen Format 16/11 cm. sind, wie aus obiger Aufzählung hervorgeht, für Gymnasien, Realschulen, Lehrerseminare, höhere Mädchenschulen und verwandte Anstalten bestimmt. Die von berufenster Seite geschriebenen Einleitungen und Anmerkungen, die im einzelnen (Band 7—10) getroffene Auswahl, nicht minder der **sorgfältige, saubere Druck** verdienen **volle Anerkennung.** Es ist ein **dankenswertes Unternehmen** der Verlagshandlung, in dieser **wirklich schönen Ausstattung gediegene Schulbücher** auch für andere Unterrichtsgegenstände mit erscheinen zu lassen, wie die bekannte, durch den Neubearbeiter noch anschaulicher gewordene **Astronomie von Möbius.** Der Preis ist sehr gering."

Südd. Bl. f. höh. Unterr.-Anst.: Nachdem die zwei ersten Auflagen von Nr. 10 der Göschenschen Sammlung (Nibelungen und Kudrun in Auswahl) beifällige Aufnahme und sehr raschen Absatz gefunden haben, sind Herausgeber und Verleger übereingekommen, **diese Nummer in zwei Bändchen zu zerlegen:** a) **Der Nibelunge Nôt** 2c. b) **Kudrun und Dietrichepen.** Dadurch ist es möglich geworden, den Text zu vermehren und ihn, sowie das Wörterbuch, mit größeren Lettern zu drucken .... Wir zweifeln nicht, daß die vorgenommene Aenderung, die gewiß den Wünschen vieler Schulmänner entgegenkommt, dieser Einleitung in das mittelhochdeutsche Schrifttum viele neue Freunde zuführen wird.

Deutsche Lehrerzeitg., Berlin: In knappster, aber doch allgemein verständlicher Form bietet uns **Dr. Fraas** die **Geologie.** Besonders aber hat uns das 14. Bändchen, welches die **Psychologie und Logik** enthält, ungemein angesprochen. **Elsenhans** versteht es, für diesen Lehrgegenstand Interesse zu erregen. Wer größere Werke nicht durchzunehmen vermag, wer halb Vergessenes auffrischen will, wer in Kürze Logik und Psychologie in den Grundzügen in leicht faßlicher Weise sich aneignen will, der greife zu diesem Büchlein. Er wird's nicht bereuen. **Lessings Philotas,** der bekanntlich in antikem Gewand den Geist des siebenjährigen Krieges und vor allem die Denkart Friedrichs des Großen schildert, und die Poesie des siebenjährigen Krieges sind echt patriotische und herzerfreuliche Gaben. Nach den vorliegenden Bändchen stehen wir nicht an, die ganze Sammlung aufs angelegentlichste nicht allein zum Gebrauch in höheren Schulen, sondern auch zur Selbstbelehrung zu empfehlen."

Schwäbischer Merkur: Der bekannte Jenaer Pädagog **Prof. Dr. W. Rein** giebt in der „**Pädagogik** im Grundriß" eine **nicht nur lichtvolle,** sondern **geradezu fesselnde** Darstellung der praktischen und der theoretischen Pädagogik. Jedermann, der sich für Erziehungsfragen interessiert, darf man das Büchlein **warm empfehlen.** Nicht minder trefflich ist die Bearbeitung, welche der Marburger Germanist Kauffmann der **Deutschen Mythologie** gewidmet hat. Sie beruht durchaus auf den **neuesten Forschungen,** wie sich an nicht wenigen Stellen, z. B. in dem schönen Kapitel über Baldr erkennen läßt.

Nr 3. Rud. Meyer.

Kleine naturwissenschaftliche Bibliothek.

Jedes Bändchen elegant in Leinwand gebunden 80 Pfg.

S. G. No. 11 **Astronomie** von Möbius. 8. Aufl. 30 Abbild.

„ „ „ 13 **Geologie** von Fraas. 2. Aufl. 66 Abbild.

„ „ „ 18 **Der Menschliche Körper** von Rebmann. 2. Aufl. 48 Abbild.

„ „ „ 26 **Physische Geographie** von Günther. 2. Aufl. 32 Abbild.

„ „ „ 29 **Mineralogie** von Brauns. 2. Aufl. 130 Abbild.

„ „ „ 37 **Chemie,** anorg.
„ „ „ 38 **Chemie,** org. } von Klein.

„ „ „ 42 **Urgeschichte der Menschheit** von Hörnes. 48 Abbild.

„ „ „ 44 **Die Pflanze** von Dennert. 96 Abbild.

„ „ „ 54 **Meteorologie** von Trabert. 50 Abbild.

Sammlung Göschen

Meteorologie

von

Dr. Wilhelm Trabert

Dozent an der Universität und Assistent der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie in Wien

Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln.

Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1896

Das Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Druck von Carl Rembold in Heilbronn.
Papier aus der Gustav Schaeuffelen'schen Papierfabrik in Heilbronn a. N.

Mannum de ta Gula.

Inhalt.

	Seite
Inhalts-Verzeichnis	3
Litteratur	5
Einleitung	9
§ 1. Begriff der Meteorologie	9
§ 2. Die Atmosphäre	10
§ 3. Bestandteile der Luft	12
§ 4. Physikalische Eigenschaften der Luft	17
§ 5. Aufgabe der Meteorologie	20
§ 6. Die meteorologischen Beobachtungsnetze	21
Die Strahlung von Sonne und Himmel	25
§ 7. Begriff der Strahlung	25
§ 8. Problem der Sonnenstrahlung	28
§ 9. Messung der Sonnenstrahlung	30
§ 10. Verteilung der Intensität auf die einzelnen Wellenlängen	34
§ 11. Die Solarkonstante	37
§ 12. Der Energieverlust in der Atmosphäre	38
§ 13. Strahlung des Himmels und der Atmosphäre	40
Die Temperatur	41
§ 14. Die Temperatur und ihre Messung	41
§ 15. Aufstellung der Thermometer; Aßmanns Aspirations-psychrometer	44
§ 16. Der tägliche Temperaturgang	46
§ 17. Mitteltemperatur	48
§ 18. Jährlicher Gang der Temperatur	50
Wärmeverteilung über der Erdoberfläche	52
§ 19. Die Isothermen	52
§ 20. Mitteltemperaturen der Parallelkreise	53
§ 21. Isanomalen	54
§ 22 Temperaturabnahme mit der Höhe	55
Der Luftdruck	58
§ 23. Das Barometer	58
§ 24. Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe	60
§ 25. Luftdruckverteilung	62
§ 26. Täglicher und jährlicher Gang des Luftdruckes	63
§ 27. Schwingungen der Atmosphäre	65
Bewegungserscheinungen der Atmosphäre	68
§ 28. Windmessung	68
§ 29. Bewegende Kräfte	69

Seite

§ 30. Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre 70
§ 31. Periodische Aenderungen der Windrichtung und Stärke . 73
§ 32 Lokale Winde 76
§ 33. Cyklonen und Antieyklonen 78

Feuchtigkeit 84
§ 34. Absolute und relative Feuchtigkeit 84
§ 35. Psychrometer und Hygrometer 87
§ 36. Verdampfung 88
§ 37. Periodische Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft und die Abnahme derselben mit der Höhe . . . 90

Bewölkung 92
§ 38. Kondensation 92
§ 39. Wolkenformen 94
§ 40. Wolkenbeobachtungen 99
§ 41. Verteilung der Bewölkung 101

Niederschlag 102
§ 42. Regenmesser 102
§ 43. Arten des Niederschlags 103
§ 44. Verteilung und periodische Aenderung des Niederschlages 107
§ 45. Thau und Reif 110

Luft-Elektricität 111
§ 46. Begriff der Luft-Elektrieität 111
§ 47. Beobachtungsthatsachen 114
§ 48. Gewitterelektrieität. Blitz und Elmsfeuer . . . 117

Atmosphärische Lichterscheinungen 119
§ 49. Tageslicht, blaue Farbe des Himmels, Dämmerung . 119
§ 50. Ringe, Höfe, Neben-Sonnen und Monde, Purpurlicht, Bishops Ring, leuchtende Wolken 121
§ 51. Der Regenbogen 126
§ 52. Das Polarlicht 127

Wetterprognose 128
§ 53. Grundlage der wissenschaftlichen Prognose . . . 128
§ 54. Das Wetter bei verschiedener Druckverteilung . . . 129
§ 55. Die Prognose und ihr gegenwärtiger Stand . . . 132
§ 56. Kosmische Einflüsse auf das Wetter 133

Bedeutung der Atmosphäre für unsere Erde 135
§ 57. Bedeutung der Zusammensetzung der Atmosphäre für das Leben der Tiere und Pflanzen 135
§ 58. Bedeutung der Atmosphäre im Energiehaushalt der Erde 138
§ 59. Beeinflussung des Wetters durch die Menschenhand . . 140

Litteratur.

Lehrbücher der Meteorologie.

R. H. Scott: Elementare Meteorologie. Uebersetzt von W. von Freeden. Leipzig. Brockhaus 1884. Allgemein verständliches Lehrbuch der Meteorologie.

H. Mohn: Grundzüge der Meteorologie. Berlin. D. Reimer. Dritte Auflage 1883. Gleichfalls populär geschrieben.

W. J. van Bebber: Lehrbuch der Meteorologie. Stuttgart 1890.

A. Sprung: Lehrbuch der Meteorologie. Hamburg. Hoffmann und Campe 1885. Streng wissenschaftlich gehalten; behandelt die einzelnen Probleme mathematisch.

E. E. Schmid: Lehrbuch der Meteorologie. Voß, Leipzig 1860. Ein älteres Lehrbuch mit reichlichem Litteraturnachweis. Streng wissenschaftlich und heute noch von hohem Wert.

L. F. Kämtz: Lehrbuch der Meteorologie. 3 Bände. Halle 1831. Gleichfalls ein älteres Werk von großem historischem Wert.

Wetterlehren.

R. Abercromby: Das Wetter. Deutsch von J. M. Perster. Herder, Freiburg 1894. Behandelt in gemeinverständlicher Sprache die Lehre vom Wetter, insbesonders die Wetterprognose auf Grund der Wetterkarten und der gewöhnlichen Wetterregeln.

W. J. van Bebber: Handbuch der ausübenden Witterungskunde. 2 Bände. Stuttgart 1885. Ausführliches Lehrbuch der Principien der modernen Wetterlehre mit eingehender Behandlung aller Versuche, einen kosmischen Einfluß auf das Wetter nachzuweisen.

Lehrbücher der Klimatologie.

J. Hann: Handbuch der Klimatologie. Engelhorn. Stuttgart 1883. (Neue Auflage im Erscheinen).

A. Woeikof: Die Klimate der Erde. Jena. Costenoble 1887.

Anleitung zu praktischen Beobachtungen.

Jelinek-Hann: Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen. 4. Aufl. Wien 1893. W. Engelmann Leipzig.
I. Teil. Anleitung zur Aufstellung und Ablesung der Instrumente, mit Muster-Beobachtungsbogen.
II. Teil. Reiche Sammlung meteorologischer Hilfstafeln.

Periodische Werke.

Meteorologische Zeitschrift. Herausgegeben von der Deutschen meteorologischen Gesellschaft und der Oest. Gesell-

schaft für Meteorologie. Redigiert von J. Hann und G. Hellmann. Wien, Hölzel.

Das führende meteorologische Fachjournal. Ausführliche Besprechung der neueren Litteratur. Reichhaltigste Fundgrube klimatologisch wichtiger Beobachtungen.

Das Wetter. Meteorologische Monatsschrift für Gebildete aller Stände. Herausgegeben von R. Aßmann. Braunschweig. Otto Salle. Populäre Zeitschrift.

Kartensammlungen.

J. Hann: Atlas der Meteorologie. Gotha. Perthes 1887.

A. Buchan: Report on Atmospheric Circulation. Zweiter Band des Report on the Scient Results of the Voyage of H. M. S. Challenger 1889.

Reichhaltiges Tabellenwerk für alle meteorologische Elemente und die Beobachtungsstationen des ganzen Erdballs. Es enthält einen Atlas der Isothermen- und Isobarenkarten für jeden Monat.

Atlas international des nuages. (Internationaler Wolkenatlas. Herausgegeben im Auftrage des Comitees von H. Hildebrandsson, A. Riggenbach, L. Teisserenc de Bort. Paris. Gauthiers-Villars 1896.

Atlas mit 18 sehr schönen, in Farben ausgeführten Wolkenbildern mit Text in 3 Sprachen (französisch, englisch, deutsch).

Wolkentafeln. 12 Bilder in Kupferlichtdruck. In Verbindung mit mehreren Fachmännern herausgegeben von Dr. Karl Singer. München, Theodor Ackermann 1892. Gleichfalls mit deutschem, französischem und englischem Text.

Die Jahrbücher der Centralanstalten

enthalten die Beobachtungsergebnisse aller Stationen von Jahr zu Jahr. Wir nennen unter diesen Jahrbüchern jene der Centralanstalten

von Baden in Karlsruhe (Direktor Ch. Schultheiß),
„ Bayern in München (F. Erk),
„ Elsaß-Lothringen in Straßburg (H. Hergesell),
„ Oesterreich in Wien (J. Hann),
„ Preußen in Berlin (W. v. Bezold),
„ Sachsen in Chemnitz (P. Schreiber),
der Schweiz in Zürich (R. Billwiller),
„ deutschen Seewarte in Hamburg (G. Neumayer),
von Württemberg in Stuttgart (L. Meyer).

Einleitung.

§ 1. Begriff der Meteorologie.

Außer der Astronomie wird wohl von Seiten des großen Publikums keiner Naturwissenschaft ein so lebhaftes Interesse entgegengebracht, als der Meteorologie. Man wird jedoch kaum fehlgehen, wenn man dieses Interesse weniger dieser Wissenschaft an und für sich zuschreibt, als vielmehr der mannigfachen Beziehung ihres Gegenstands, der Atmosphäre und deren Veränderungen, zum praktischen Leben. Das Wetter ist ja nicht bloß für den Spaziergänger von Wichtigkeit, ist für den Touristen nicht selten geradezu eine Lebensfrage: der Seemann, der Landwirt hängen in ihrer ganzen Existenz von den Verhältnissen der Atmosphäre ab.

Was aber Meteorologie eigentlich sei, und welches ihre Aufgabe ist, darüber sind meist irrige Ansichten verbreitet. Man glaubt vielfach, Meteorologie sei die Lehre vom Wetter und hält für ihr eigentliches Ziel die Wetterprognose. Thatsächlich ist dieser Wissenschaft vielmehr die Aufgabe gestellt, den Zusammenhang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre aufzudecken, d. h. die in derselben erfolgenden Veränderungen zu erklären. Meteorologie ist, kurzgesagt, Physik der Atmosphäre. Die Lehre vom Wetter, eine besondere Anwendung der allgemeinen meteorologischen Gesetze, bildet allerdings vorläufig noch einen Zweig der Meteorologie, wird aber zweifellos

gleich der Lehre vom Klima, der Klimatologie, sich im Lauf der Zeit zu einer eigenen Wissenschaft entwickeln.

§ 2. Die Atmosphäre.

Gegenstand der Meteorologie ist die Lufthülle unseres Erdballs, die Atmosphäre, nach des Aristoteles Ausdruck „Ta Meteora“, die Dinge über der Erde. Was unsere Atmosphäre sei, davon konnte man sich erst eine richtige Vorstellung machen, als Toricelli den nach ihm benannten fundamentalen Versuch ausgeführt hatte.

Füllt man nämlich eine Flasche mit irgend einer Flüssigkeit bis zum Rande an, verschließt die Oeffnung mit dem Daumen, kehrt die Flasche sodann um und taucht deren Hals soweit in ein anderes mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäß ein, daß die Oeffnung der Flasche unter den Spiegel der Flüssigkeit M N (Fig. 1) zu liegen kommt, so wird, auch wenn man den Daumen von der Flaschenöffnung wegzieht, kein Tropfen aus derselben ausfließen. Man erklärte diesen Vorgang durch die Annahme eines „horror vacui“ (den Abscheu vor dem leeren Raum). Man glaubte nämlich, die Körper hätten das Bestreben jeden leeren Raum auszufüllen, und setzten deshalb dem Entstehen eines solchen einen Widerstand entgegen.

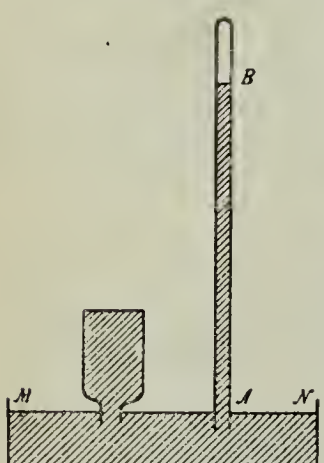


Fig. 1. Toricellis Versuch.

Diese Annahme erwies sich jedoch als ein Irrtum, der gründlich widerlegt wurde, als auf Veranlassung Toricellis Viviani im Jahre 1643 den Versuch derart abänderte, daß er statt der Flasche eine etwa 1 Meter lange, einseitig geschlossene Glasröhre und als Flüssigkeit Quecksilber anwandte.

Es zeigte sich, daß dann allerdings ein Teil des Quecksilbers aus der Röhre austrete, daß aber das in derselben verbleibende nie unter einen gewissen Stand, B, (Fig. 1) etwa 76 cm über dem Niveau A des Quecksilbers, im Gefäße sinke.

Der über dem Quecksilber in B befindliche Teil der Röhre ist thatsächlich ein leerer Raum, das sogenannte Toricellische Vacuum.

Viviani gab auch die Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung, indem er die seither durch unzählige Versuche als richtig bestätigte Vermutung aufstellte, daß die Luft ein schwerer Körper sei, und daß der Druck, den die Luft auf die Flüssigkeitsoberfläche M N ausübt, die Ursache sei, daß das Quecksilber zu einer solchen Höhe in das leere Glasrohr emporgetrieben werde, bis das Gewicht der Quecksilbersäule dem Druck der Luft das Gleichgewicht zu halten vermöge.

Nehmen wir eine Röhre von 1 Quadratcentimeter Querschnitt an, so würde eine Quecksilbersäule von 76 cm Höhe, da ein Kubikcentimeter Quecksilber 13.60 Gramm wiegt, $13.60 \times 76 = 1033$ Gramm oder rund ein Kilogramm wiegen. So stark wäre also der Druck, welchen die Atmosphäre auf eine Fläche von einem Quadratcentimeter ausübt.

Ist diese Erklärung aber richtig, so schloß schon wenige Jahre nach dem Bekanntwerden des Toricellischen Versuches der berühmte Mathematiker und Philosoph Pascal, dann müßte, wenn man diesen Versuch auf einem Berg anstellen würde, wo ja ein großer Teil der Atmosphäre unterhalb des Beobachters liegt, der Druck der Atmosphäre schwächer, deshalb auch die Höhe der Quecksilbersäule geringer sein.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde von Clermont aus eine Expedition auf den Puy de Dôme unternommen. Mit größter Spannung sah man dem von Périer, Pascals Schwager,

angestellten Versuch entgegen und in der That fand man den Quecksilberstand oben um etwa 10 cm niedriger als unten in Clermont.

Durch diesen Versuch war der zweifellose Beweis geliefert, daß die Atmosphäre eine aus einem schweren Stoff bestehende Hülle bildet, die den Erdball umgiebt. Aber wie weit? Auf diese Frage werden wir erst später zu sprechen kommen.

§ 3. Bestandteile der Luft.

Ueber die eigentliche Beschaffenheit der Luft, jenes Stoffes, welcher die Hülle des Erdballs bildet, war man freilich zu Toricellis Zeiten noch ganz im Unklaren. Erst im nächstfolgenden Jahrhundert, im Jahr 1773, gelang es Scheele, den Nachweis zu liefern, daß die reine, trockene Luft aus zwei verschiedenen Gasarten bestehe, welche wir heute mit dem Namen Sauerstoff und Stickstoff bezeichnen. Wie die Beobachtungen lehren, ist die Mischung dieser beiden Gase eine sehr gleichmäßige. Fast überall und zu allen Zeiten wurde ein Verhältnis von 21 Volumteilen Sauerstoff und 79 Volumteilen Stickstoff gefunden, so daß das Gewicht eines Kubikmeters Luft etwa 1.293 Klgr. beträgt.

Neben diesen beiden Hauptbestandteilen zeigt die atmosphärische Luft eine Reihe anderer gasförmiger und fester Bestandteile, wenn auch in geringer Menge. In erster Linie kommt hier der Wasserdampf in Betracht, der in sehr wechselnden Mengen von den kleinsten Werten bis zu etwa 4 Volumprozent in der Atmosphäre vorkommt.

Geringer, aber gleichfalls von hoher Bedeutung sowohl für die Veränderungen in der Atmosphäre, wie für das Leben auf der Erdoberfläche ist der Kohlensäuregehalt der Luft.

Im Mittel beträgt derselbe etwa 0,03 Prozente des gesamten Volumens. Er ist größer in den Nachtstunden, kleiner im Laufe des Tags, da unter dem Einfluße der Sonnenstrahlen die Pflanzen Kohlensäure zersetzen. Er ist ebenso größer bei fallender Temperatur und fallendem Luftdrucke, da dann das Austreten der Bodenluft, die durch die Zersetzung organischer Substanzen überreich an Kohlensäure ist, wesentlich gefördert ist. Auch in Städten ist der Kohlensäuregehalt naturgemäß viel größer als auf dem Lande; in London z. B. erreicht er bei nebligem Wetter 0.14 %. An manchen Orten ist derselbe oft noch weit größer: in Cigarrenfabriken ist ein Kohlensäuregehalt bis zu 0.44 % beobachtet worden.

In weit geringeren Mengen kommen in der Luft Ammoniak, Ozon und verschiedene Säuren vor. Ammoniak bildet sich bei der Zersetzung organischer Substanzen; nach neueren Beobachtungen in Montsouris entfallen davon auf den Kubikmeter Luft etwa 0.020 mgr; an manchen Orten jedoch, besonders in größeren Städten, wurden weit höhere Beträge gefunden. Durch den Niederschlag gelangt es bald wieder zum Erdboden zurück.

Noch kleiner ist der Gehalt eines Kubikmeters Luft an Ozon, einer besonderen Modifikation des Sauerstoffs, die sich unter dem Einfluß elektrischer Entladungen in der Atmosphäre bildet. Es entfallen auf 1 m^3 nur 0.014 mgr Ozon.

Ebenso bildet sich unter dem Einfluß von Blitzentladungen durch Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff, wohl aber auch infolge der Einwirkung von Ozon auf Ammoniak bei der Zersetzung organischer Stoffe salpetrige Säure und Salpetersäure.

Außerdem finden sich Spuren von schwefeliger Säure, Schwefelsäure, Wasserstoffsuperoxyd und Wasserstoff. In aller-

jüngster Zeit hat man einen neuen, bisher unbekannten Stoff in der Atmosphäre nachzuweisen vermocht, das Argon, das etwa 0.8 Volumenprozent der Luft auszumachen scheint. Ob es ein neues Element oder etwa eine Modifikation des Stickstoffs ist, müssen weitere Untersuchungen lehren.

Unsere Atmosphäre enthält aber auch feste Bestandteile: vor allem Staub, der, wie wir später sehen werden, eine bedeutende Rolle spielt. Die Zahl der Staubteilchen ist eine ganz erstaunlich große. Selbst auf dem Lande und an der Meeresküste sind deren mehrere Tausend in einem Kubikcentimeter Luft enthalten, in Städten natürlich weit mehr, z. B. in Edinburgh bei trübem Wetter 250 000 pro Kubikcentimeter. Auch auf dem Eiffelturm, auf dem Rigi und Ben Nevis in Schottland wurden, wenn der Wind nicht vom Thale her wehte, mehrere Hundert Staubteilchen in dem gleichen Luftvolumen gemessen; kam der Wind aus dem Thale, so stieg auch hier deren Zahl auf viele Tausend.

Besonders stauberzeugend wirken Gasflammen. So fand man, daß in einem Zimmer, worin der Staubgehalt 426 000 pro Kubikcentimeter betrug, derselbe bis zu etwa 46 Millionen stieg, als 4 Gasflammen 2 Stunden lang gebrannt hatten! Wird gar noch geraucht, so steigt der Betrag schier ins Unmeßbare; die Zahl der Staubteilchen, die ein Cigarrettenraucher in einem Zuge aussendet, wird auf etwa 4000 Millionen geschätzt.

Wie war es nur möglich, diese Zahlen zu ermitteln und die Menge der Staubteilchen in einem so kleinen Luftquantum zu berechnen? Die Lösung dieses Problems ist erst vor wenigen Jahren dem englischen Physiker Aitken gelungen. Ein bestimmtes Luftvolumen kann (vergl. S. 85) bei einer gewissen Temperatur und unter einem gewissen Druck nur eine

bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Ist die Luft mit Wasserdampf „gesättigt“, so genügt eine geringe Abkühlung oder Ausdehnung, um eine Kondensation des Wasserdampfes hervorzurufen. Eigentümlicherweise aber scheidet sich dieser Wasserdampf nicht ohne weiteres aus der Luft aus, sondern schlägt sich an den Wänden des Gefäßes, worin die Luft eingeschlossen ist, oder an darin enthaltenen festen Körpern, vor allem an den Staubteilchen nieder. Es genügt daher, die auf ihren Staubgehalt zu untersuchende Luft mit Wasserdampf zu sättigen und dann durch eine kleine Ausdehnung mittels einer Luftpumpe Kondensation eintreten zu lassen. Jedes Staubteilchen wird dann zu einem Kondensationskern, wächst zu einem kleinen Tröpfchen an und sinkt unter dem Einfluß der Schwere nieder. Läßt man diese Tröpfchen auf eine Platte, auf der ein Quadratmillimeternetz eingeätzt ist, oder, wie dies Aitken that, auf einen Silberspiegel fallen, so ist es nicht schwer, mit Hilfe eines Mikroskops die Zahl der Tröpfchen zu ermitteln, welche aus einer Luftsäule von bestimmter Höhe (etwa 1 cm) auf 1 Quadratcentimeter auffallen. Dies ist dann die Anzahl, welche in einem Kubikcentimeter enthalten ist. Diese Zahlen sind so groß, daß die zu untersuchende Luft nicht unmittelbar in den Apparat eingeführt werden darf; man muß vielmehr zuerst einen Teil derselben mit einem größeren, aber genau bekannten Quantum reiner, vollkommen staubfreier Luft aufs innigste mischen und nun mit dieser verdünnten Staubluft die Messungen anstellen. Sonst wäre die Anzahl der Tröpfchen, welche auf ein Quadratmillimeter entfallen, so groß, daß an eine Zählung derselben nicht zu denken wäre.

Aitken hat mit diesem sinnreichen Verfahren bereits an den verschiedensten Orten Messungen unternommen, deren

Ergebnisse vollkommen übereinstimmten. Aus den hohen Ziffern, wie wir sie oben kennen lernten, kann man einen Begriff von der außerordentlichen Kleinheit dieser Staubpartikelchen gewinnen, die auch mit den besten Mikroskopen niemals wahrzunehmen wären. 100 000 Staubteilchen pro cm^3 sind in Städten gar nichts besonderes, und in manchen Wohnräumen hat Aitken noch viel größere Zahlen gefunden. Trotzdem beträgt der Staubgehalt eines Kubikmeters Luft in einem Wohnzimmer durchschnittlich nur 1.6 mgr. Hundert Staubteilchen würden hiernach noch weniger als ein Billiontel Gramm wiegen! In Fabrikräumen kommen allerdings größere Gewichtszahlen vor: in dem Putzraum eines Eisenwerks wurden 100 mgr Staub pro m^3, in einer Filzschuhfabrik 175 mgr ermittelt, und man darf annehmen, daß in solchen Räumen auch weit größere Staubteilchen vorhanden sind, welche die Luft verunreinigen.

Doch woher stammt all dieser Staub, der sich bis zu den Gipfeln unserer Berge, ja selbst auf dem Meere vorfindet? Zweifelsohne ist einerseits die Zerreibung der festen Substanzen unserer Erdoberfläche und deren Verwehung, andererseits die Thätigkeit der Vulkane, welche (vergl. S. 124) beträchtliche Mengen vulkanischen Staubs in ungeheure Höhen der Atmosphäre emporschleudern, die Hauptquelle des Staubgehalts der Luft. Nach neueren Untersuchungen, insbesondere Nordenskjölds, kommt aber auch Staub von unzweifelhaft kosmischem Ursprung in der Atmosphäre vor. Das Eindringen solcher kosmischen Staubwolken in unsere Lufthülle hat man schon unmittelbar beobachtet. Erwiesen wurde diese Annahme weiter durch die Untersuchung von Staubfällen, z. B. des am 3. Mai 1892 in Schweden niedergegangenen, der sich über ein Gebiet von etwa 1650 km Länge und 300—500 km Breite erstreckte,

wobei ein Staubniederschlag von 1—2 gr pro Quadratmeter konstatiert werden konnte. Eine besondere Art dieses kosmischen Staubs scheint der sogenannte Passat- und Polarstaub zu sein, den Nordenskjöld durch die Annahme eines Staubrings zu erklären sucht, der sich in großer Ausdehnung parallel der Aequatorebene rings um die Erde hinziehe. Von diesem Ring aus scheint ein langsamer, stetiger Staubniederschlag teils in der Gegend der Passate, teils in der Gegend des Poles stattzufinden.

Nicht so beträchtlich als die Zahl der Staubteilchen, aber immerhin recht groß ist die Zahl der die Luft bevölkernden Bakterien. Zu Montsouris und in Paris wird seit einigen Jahren der Gehalt der Luft an Bakterien gezählt, und die sich ergebenden Zahlen illustrieren deutlich den großen Unterschied zwischen Stadt und Land. Während in Montsouris nur 300 auf den Kubikmeter entfallen, beträgt ihre Zahl im Innern von Paris über 5400 auf den Kubikmeter, im Sommer sogar noch viel mehr. Im Monat August entfallen auf Paris 8256, auf Montsouris 555, während im Januar nur 3074, bezw. 185 auf 1 m^3 kommen.

§ 4. Physikalische Eigenschaften der Luft.

Die atmosphärische Luft ist somit im Wesentlichen ein Gemenge von verschiedenen permanenten Gasen und Wasserdampf. Für die trockene Luft müssen daher ganz dieselben Gesetze gelten, wie für Gase überhaupt: es wird sich auch die Luft, wenn die Temperatur bei gleichbleibendem Drucke um 1° Celsius steigt, um etwa $^1/_{273}$ ihres Volumens ausdehnen, während sich ihr Volumen vergrößern oder verkleinern wird, je nachdem der Druck ab- oder zunimmt. Temperatur, Druck und Volumen stehen eben bei jedem Gas in einer ganz bestimmten,

durch das Mariotte-Gay-Lussacsche Gesetz ausgedrückten Beziehung, so daß durch zwei dieser Größen (etwa die beiden ersten) der Zustand des Gases vollkommen bestimmt ist. Ist dies aber der Fall, dann ist es auch möglich, selbst ohne Wärmezufuhr die Temperatur eines Gases durch bloße Vermehrung des Druckes zu erhöhen. Dieses letztere Gesetz ist für die Physik der Atmosphäre von außerordentlicher Wichtigkeit. Erhöht sich der Druck derart, daß er nicht mehr bloß einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe, sondern einer solchen von 77 cm das Gleichgewicht halten kann, so steigt schon deswegen die Temperatur der trockenen Luft um 1 Grad Celsius, und sie fällt um ebensoviel, wenn der Druck um dieselbe Größe, kurz ausgedrückt: „um 1 cm (oder 10 mm)", abnimmt.

Hiermit sind wir zu einem fundamentalen Unterschiede zwischen trockener und feuchter Luft gelangt, einem Unterschied, welcher, wie besonders von Hann klargelegt worden ist, in der Meteorologie eine große Rolle spielt. Wir haben ja gesehen, daß eine gewisse Menge Luft bei einer bestimmten Temperatur nur eine gewisse Quantität Wasserdampf zu fassen vermag. Es wird also, sobald wir mit Wasserdampf gesättigte Luft abkühlen, notwendig ein Teil des Wasserdampfs sich ausscheiden müssen. Was ist aber die Folge dieser Condensation des Wasserdampfs? Die Physik lehrt, daß eine Verdampfung des Wassers nicht möglich ist, wenn nicht eine gewisse, ziemlich beträchtliche Wärmemenge dem zu verdampfenden Wasser zugeführt wird. Rund 600 Calorien*) sind nötig, um 1 Gramm Wasser zu verdampfen; ebensoviel Wärme wird aber auch wieder frei, wenn sich 1 Gramm Wasser aus der Dampfform kondensiert.

*) Wärmeeinheiten. 1 Calorie ist jene Wärme, die nötig ist, um 1 gr Wasser um 1° C zu erhöhen.

Lassen wir nun an Stelle der trockenen Luft ein Kilogramm feuchter, mit Wasserdampf gesättigter Luft treten und verringern wieder den Druck, ohne von außen Wärme zu- oder wegzuführen! Wird nun bei einer Druckabnahme um 10 mm die Temperatur wieder um einen Grad sinken? Keineswegs! Denn, wenn das Kilogramm gesättigter Luft sich um einen Grad abkühlt, so wird ein Teil, etwa 0.4 gr, Wasser kondensiert. Da aber bei der Kondensation von 1 gr Wasser 600 Calorien, d. h. eine Wärmemenge frei wird, welche genügt, um 1 Kilogramm Luft um 2.5 ° C zu erwärmen, so muß in dem betrachteten Kilogramm gesättigter Luft eine Wärme frei werden, welche hinreicht, um diese Luftmenge um $0.4 \times 2.5 = 1$ ° C zu erwärmen. Wenn wir nun den Fall vor uns haben, daß trotzdem durch Druckverminderung sich die Luft um 1 ° C abgekühlt hat, so war offenbar hier die doppelte Druckabnahme nötig, um diese Wirkung hervorzubringen. Bei gesättigter Luft müssen wir somit zuerst den Druck um 10 mm verringern, bloß um die bei der Kondensation frei werdende Wärme, welcher ja eine Temperaturerhöhung von einem Grad entspricht, aufzubrauchen, worauf wir zur eigentlichen Abkühlung um 1 ° noch eine weitere Druckabnahme von 10 mm, also im Ganzen eine solche von 20 mm bedürfen. Dieselbe Druckabnahme vermag also bei feuchter, gesättigter Luft nur eine Abkühlung um den halben Betrag wie bei trockener Luft, zu erzielen.

Erinnern wir uns an die Abnahme des Luftdrucks bei der Expedition Périers auf den Puy de Dôme! Um 100 mm war dort oben der Luftdruck geringer. Denken wir uns nun, es würde ein Luftquantum von der Erdoberfläche zur Höhe des Puy de Dôme erhoben. In Folge der Druckabnahme würde sich dasselbe, wenn es aus trockener Luft bestünde, um

10 ° C abkühlen; dagegen würde, wenn es an der Erdoberfläche gesättigt wäre, der Druckabnahme um 100 mm nur eine Abkühlung von 5 ° C, d. i. gerade der Hälfte entsprechen. Ein Luftquantum, das vom Puy de Dôme herabgebracht würde, sei es nun trocken oder feucht, wird sich umgekehrt um 10 ° C erwärmen. Unter diesen Umständen erscheint das Vorhandensein des Wasserdampfs in unserem Luftmeere für die Dynamik der Atmosphäre von der höchsten Wichtigkeit.

§ 5. Aufgabe der Meteorologie.

Nach dem bisherigen können wir nun auch die Aufgabe der Meteorologie näher bestimmen. Wir beobachten nicht bloß örtlich, sondern auch zeitlich beträchtliche Unterschiede im Zustand der Atmosphäre. Wir beobachten Unterschiede in der Temperatur, im Druck, in der Zusammensetzung, insbesondere im Feuchtigkeitsgehalte, sowie endlich den Ortswechsel der Luft auf der Erdoberfläche. Woher kommen denn diese örtlichen Unterschiede und die Veränderungen im Laufe der Zeit? Die Auffindung ihrer Ursachen und der Gesetze, welche alle diese Unterschiede und Veränderungen bestimmen, sowie die Erforschung ihres Zusammenhangs — das ist die Aufgabe der Meteorologie.

Es ist ein allgemeines physikalisches Gesetz, daß, wo immer fortlaufend und ohne Abschwächung Veränderungen sich zeigen, eine Zufuhr von Energie von außen in Form von Wärme oder in anderer Form stattfinden muß. Nach dieser äußeren treibenden Kraft, nach dieser Urquelle aller Verwandlungen im Luftmeere werden wir auch bezüglich der Atmosphäre zu suchen haben. Der vielfach periodische Verlauf dieser Veränderungen, wie die unmittelbare sinnliche Wahrnehmung wiesen den Menschen schon in den frühesten Zeiten

auf die Sonne als auf diese Energiequelle und letzte Ursache aller Veränderungen in der Atmosphäre hin.

Somit wird die Behandlung der Strahlung, anscheinend des einzigen Wegs, auf dem ein Energieaustausch zwischen Himmelskörpern möglich ist, speziell der Strahlung der Sonne, unsere erste Aufgabe sein müssen. Erst dann, wenn wir die letzte Ursache der atmosphärischen Vorgänge besprochen, können wir daran gehen, auch die Wirkungen dieser Energiezufuhr von der Sonne zu erörtern; wir können dann die Unterschiede in der Strahlung mit den Unterschieden in Temperatur und Druck in Zusammenhang bringen. Wir können ferner die Bewegungserscheinungen, den in letzter Linie gleichfalls auf Rechnung der Sonnenstrahlung zu setzenden Kreislauf des Wassers, seine Verdunstung und Kondensation, wie seine Rückkehr zur Erdoberfläche im Niederschlag erörtern, worauf wir uns zum Schluß den optischen, den elektrischen Erscheinungen und dem Wetter zuwenden werden. Bei jeder einzelnen Erscheinung wird sich uns die Frage nach dem Warum aufdrängen; auf jede derselben die Antwort zu finden, das wird einen Teil unserer Aufgabe bilden.

§ 6. Die meteorologischen Beobachtungsnetze.

Wie alle anderen Wissensfächer, so begann auch die Meteorologie sich zur Wissenschaft zu erheben, als die Möglichkeit gegeben war, die Veränderungen in der Atmosphäre, die den Gegenstand ihres Forschens bilden, zu messen. Bald nach der Erfindung von Barometer und Thermometer um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts wurde das erste meteorologische Beobachtungsnetz von dem Herzog Ferdinand II. von Toskana begründet. Es waren meist Privatleute, Physiker, Geistliche, Lehrer u. a., welche schon damals sich dem

Beobachtungsdienste unterzogen. Auch an den Sternwarten wurden meteorologische Beobachtungen angestellt; ihnen verdanken wir unsere längsten, bis über 200 Jahre zurückreichenden meteorologischen Beobachtungsreihen und die Pflege der Meteorologie, ehe sich dieselbe noch zu einer selbständigen Wissenschaft entwickelt hatte.

Erst als die Beobachtungsnetze sich in allen Ländern erweiterten, als die Bearbeitung und Veröffentlichung der Beobachtungen die Kräfte der Sternwarten überstieg, stellte sich das Bedürfnis heraus, eigene staatliche meteorologische Centralanstalten zu begründen, welche die Stationen mit einheitlichen, geprüften Instrumenten zu versehen, deren Beobachtungen zu sammeln, zu kontrolieren, zu bearbeiten und zu veröffentlichen hätten.

Fast in allen Ländern bestehen heutzutage zahlreiche derartige Stationen, an denen 3mal im Laufe des Tages, gewöhnlich um 7 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 9 Uhr abends, entweder alle oder doch ein großer Teil der „meteorologischen Elemente", d. i. Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung, Windstärke, Bewölkung und Regen, beobachtet wird. Deutschland besitzt, abgesehen von jenen Stationen, an denen bloß Regen oder Gewitter beobachtet werden, über 300, Oesterreich an 500, die Schweiz etwa 100 meteorologische Stationen, die anderen Staaten stehen darin den genannten durchaus nicht nach. Es ist klar, daß eine so große Zahl von Stationen die Thätigkeit der meteorologischen Centralanstalten vollständig in Anspruch nimmt; deshalb hat man vielfach den Witterungsprognosen- und Sturmwarnungsdienst von dem Dienste der Centralanstalten vollständig getrennt. Aber auch für solche Beobachtungen, die teils kompliziertere Apparate, teils wissenschaftliche Vorbildung erfordern, wie die regel-

mäßige Beobachtung und Messung der Sonnenstrahlung, der Luftelektricität, der Polarisation des Himmelslichtes und anderer Erscheinungen, welche für die Meteorologie unerläßlich sind, verbleibt an unseren Centralanstalten leider keine Zeit.

Immer dringender ward daher das Verlangen nach eigenen meteorologischen Beobachtungsinstituten; Rußland besitzt in dem Observatorium zu Pawlowsk, Preußen in dem neuen, mustergiltig eingerichteten meteorologischen Observatorium in Potsdam bereits ein derartiges Institut. Bislang ist übrigens keines dieser Institute zu einer systematischen Anstellung solcher schwierigeren Beobachtungen gekommen; sie haben bisher ihre ganze Zeit auf das Studium der Beobachtungsmethoden und der zweckmäßigsten Einrichtung der Meßinstrumente verwenden müssen. Nur in Frankreich hat man sich schon an einigen kleinen Observatorien mit Beobachtungen zu befassen vermocht. In Montpellier hat man regelmäßige Messungen der Sonnenstrahlung vorgenommen und in dem einzig dastehenden städtischen Observatorium in Montsouris bei Paris hat man auch regelmäßige Beobachtungen über die Zusammensetzung der Luft, ihren Gehalt an Bakterien und anderen schädlichen Beimengungen angestellt. Es ist sehr zu bedauern, daß nicht auch andere Städte derartige Observatorien besitzen.

Wollen wir jedoch auch Aufschlüsse über die Vorgänge in höheren Luftschichten erhalten, so dürfen wir uns nicht auf Beobachtungen an der Erdoberfläche, wo ja örtlicher Verhältnisse halber mannigfache Störungen unvermeidlich sind, beschränken, sondern müssen nach Möglichkeit Beobachtungen aus höheren Regionen unserer Atmosphäre zu gewinnen trachten. Man hat sich deshalb in allen Ländern die Errichtung von Gipfelstationen angelegen sein lassen; von diesen ist diejenige auf

dem Sonnblick in den Hohen Tauern (3105 m hoch) jetzt, seit die amerikanische Station auf Pikes Peak eingegangen ist, die höchste, ständig bewohnte Gipfelstation, welche vermöge ihrer günstigen Lage, trefflichen Einrichtung und überraschenden Ergebnisse unstreitig die erste Stelle einnimmt. Aber auch die Beobachtungen auf dem Säntis (2467 m) in der Schweiz, dem Obir (2043 m) in Kärnten, dem Pic du Midi (2877 m) und Puy de Dôme (1463 m) in Frankreich, dem Wendelstein (1728 m) in Bayern und dem Ben Nevis (1343 m) in Schottland, ja auch die auf dem nur 300 m hohen Eiffelturm in Paris haben unsere Kenntnisse der Atmosphäre merklich bereichert.

Dabei ist unumgänglich erforderlich, daß auf einer solchen Station ein ständiger Beobachter weile; niemals hätte man aus den Beobachtungen auf dem Sonnblick so mannigfache, neue und wichtige Ergebnisse zu erzielen vermocht, wenn nicht daselbst ein so tüchtiger und gewissenhafter Beobachter, wie der bekannte Peter Lechner, fast 7 Jahre hindurch jahraus jahrein die täglichen Beobachtungen angestellt und die Instrumente auf das Beste besorgt hätte. Stationen, wie die auf dem Montblanc (in 4365 m Höhe und auf dem Gipfel in 4800 m), oder die noch höheren auf dem Charcani (5080 m) und Misti (5850 m) in Peru, wo nur für kurze Zeit Beobachter weilen oder bloß selbstregistrierende Apparate ihre Aufzeichnungen machen, haben einen weit geringeren Wert. Oft versagen ja auch die besten selbstregistrierenden Apparate, und auf dem Misti geschah es, daß Indianer die wertvollen Instrumente stahlen und so die mit vielen Kosten errichtete Station lahmlegten.

Indes werden auch Beobachtungen auf möglichst freiliegenden Berggipfeln die Verhältnisse der freien Atmosphäre

nicht ganz richtig wiedergeben. Die Erhebung des Erdbodens wird ja manche Störungen mit sich bringen; man war deshalb vielfach bestrebt, die Beobachtungen auf Berggipfeln durch solche im Luftballon zu kontrollieren und zugleich Kunde aus noch höheren Schichten zu erhalten. Glaisher hat solche wissenschaftliche Fahrten in England angestellt; in neuerer Zeit sind solche mit der sorgfältigsten instrumentellen Ausrüstung von Berlin aus unternommen worden. Etwa 10000 Meter ist die größte Höhe, bis zu welcher man auf diese Weise sich zu erheben vermocht hat; denn schon in 8000 m wird der Aufenthalt für den Menschen gefährlich, wie denn Glaisher seine höchste Höhe in bewußtlosem Zustande erreichte.

Und doch hat man nicht darauf verzichten können, auch aus noch höheren Luftschichten Beobachtungen zu erlangen. In Frankreich und Deutschland hat man neuerdings dieses Ziel mit Hilfe von „Registrierballons", unbemannten, aber mit selbstschreibenden Instrumenten ausgerüsteten Ballons, zu erreichen gesucht und hiebei besten Erfolg gehabt. Bis zu 16000 Meter Höhe, woselbst der Luftdruck nur mehr ein Neuntel des Luftdruckes an der Erdoberfläche betrug, sind solche Ballons schon emporgestiegen, und vielleicht wird es sogar gelingen, dieselben bis zu Höhen von 20 Kilometern empordringen zu lassen.

Die Strahlung von Sonne und Himmel.

§ 7. Begriff der Strahlung.

Wo immer ein wärmerer und ein kälterer Körper einander gegenüberstehen, beobachten wir, daß von dem ersteren

auf den letzteren Wärme übergeht. In Betreff der Art, wie dieser Uebergang erfolgt, müssen wir zwei Vorgänge unterscheiden. Wir beobachten einmal, beispielsweise bei einer in einem Gefäß auf eine heiße Herdplatte gestellten Flüssigkeit, daß die von dem heißen Herde zur kälteren Flüssigkeit übergehende Wärme zuerst die dazwischenliegende Gefäßwand erwärmen muß, derart, daß eine stetige Abnahme der Temperatur von der Platte bis zur Flüssigkeit eintritt und die Wärme allmählich von Schichte zu Schichte „geleitet" wird.

Ein anderes Mal, wenn wir uns z. B. einem heißen Ofen nähern, beobachten wir einen Wärmeübergang auf unseren Körper, ohne daß deshalb die dazwischenliegende Luft eine besonders hohe Temperatur zu besitzen brauchte; ja wir können sogar ein plattenförmig gestaltetes Stück Eis zwischen uns und den Ofen einschalten: die Wärme geht ungehindert hindurch, obwohl die Temperatur des Eises Null Grad nicht übersteigt. Wir können dagegen durch Einstellung eines Metallschirmes, der vielleicht viel wärmer ist als das Eisstück und etwa die Zimmertemperatur besitzt, sofort den Uebergang der Wärme abschneiden. Hier haben wir es offenbar mit einem von dem Wärmeübergang durch „Leitung" verschiedenen Vorgang zu thun und sagen, die Wärme gehe durch „Strahlung" von dem einen Körper zum anderen über.

Besonders deutlich beobachten wir den durch Strahlung erfolgenden Wärme-Uebergang, wenn wir uns einem glühenden Körper nähern. Wir machen hierbei die weitere wichtige Beobachtung, daß die durch Strahlung ausgesandte Wärme in enger Beziehung steht zu dem Lichte, welches der glühende Körper aussendet; daß gleich diesem auch die ausgestrahlte Wärme sich geradlinig ausbreite, und daß die Intensität der auf die Flächeneinheit entfallenden Strahlung so wie beim

Licht $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ .... wird, wenn die Entfernung um das 2-, 3-, 4-fache wächst.

Wie das Licht, läßt sich auch die Wärmestrahlung durch Metallspiegel zurückwerfen; wie dieses, wird sie von einem berußten Körper vollständig aufgesogen, wie man sich ausdrückt, „absorbiert". Kurz, sie ist vom Lichte nicht zu trennen und hat mit diesem alle Eigenschaften gemein. Nicht anders verhält es sich mit der von einem nur erhitzten, noch nicht glühenden Körper ausgestrahlten Wärme: alle Eigentümlichkeiten der Strahlen finden wir hier wieder, nur die Wirkung auf unser Auge, die Lichtwirkung, fehlt.

Die Beobachtung der Eigentümlichkeit der Lichtstrahlen, sich durch ein Glasprisma brechen und in ein farbiges, sogenanntes Spektrum verwandeln zu lassen, hat dahin geführt, unendlich viele Strahlenarten zu unterscheiden. Da nun nach den Lehren der Physik jeder Strahl in einer wellenförmigen Bewegung eines außerordentlich feinen, überall verbreiteten mutmaßlichen Stoffes, des „Aethers", besteht, so kann dieser Unterschied der Strahlen und ihrer Qualität nur durch die Länge der Wellen, welche den Strahl ausmachen, bedingt sein.

Wir haben es somit bei einem Strahle mit einer besonderen Art der Energie zu thun: mit Energie in schwingender Form. Die Menge von Energie, welche ein Strahl enthält, bestimmt seine Intensität, die Wellenlänge seine Qualität.

In ihrem Wesen sind alle Strahlen gleich, und es besteht zwischen Wärme-, Licht- und chemischen Strahlen kein wesentlicher Unterschied. Jeder Strahl wird von einem berußten Körper, auf den er fällt, aufgesogen; seine Energie verwandelt sich in Wärme. Insoferne sind alle Strahlen Wärmestrahlen. Jedoch sind nur gewisse Strahlen — jene,

deren Wellenlängen zwischen 0·00036 mm (violett) und 0·00081 mm (rot) liegen — befähigt, die Netzhaut unseres Auges zu erregen, hier als Licht zu wirken und den Eindruck dieser oder jener Farbe hervorzurufen. Wiederum haben auch nur gewisse Strahlen die Eigenschaft, bei einer bestimmten Substanz chemische Veränderungen hervorzurufen.

Abgesehen von diesen durch die Wellenlänge bestimmten Unterschieden, verhalten sich alle Strahlen gleich. Hinsichtlich der Fortpflanzung, Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz der Strahlen u. s. w. gelten dieselben Gesetze, welche bezüglich der Lichtstrahlen, die wir so leicht und bequem mit unserem Auge verfolgen, allgemein bekannt sind.

Auch den leeren Raum, insoweit wir einen solchen herstellen können und insoweit ein solcher im freien Weltraume vorhanden ist, vermag die Strahlung zu durchsetzen. Für den Energieaustausch zwischen Himmelskörpern ist diese Eigenschaft somit von höchster Bedeutung; ja es scheint, daß die Strahlung überhaupt der einzige Weg ist, auf welchem ein solcher Austausch thatsächlich vor sich geht.

§ 8. Problem der Sonnenstrahlung.

Es wurde schon hervorgehoben, daß die Strahlung der Sonne die letzte Ursache aller Veränderungen in der Atmosphäre sei. Es ist aber auch nicht mehr daran zu zweifeln, daß dieser Energieaustausch in einem bedeutenden Temperaturgegensatz zwischen Sonne und Erde seine Erklärung findet, daß mit andern Worten die Sonne ein glühender Körper sei. Es läßt sich sogar mit einiger Sicherheit die Temperatur ihrer Oberfläche angeben, woferne es nur gelingt, die Wärme zu ermitteln, welche an der Grenze der Atmosphäre

im Laufe einer Minute einem Quadratcentimeter zugeführt wird.

Die Bestimmung dieser letzteren Größe, der „Solarkonstanten", ist nun aber durchaus keine leichte Aufgabe. Wir beobachten ja die uns von der Sonne zukommende Strahlung erst, nachdem dieselbe eine beträchtliche Strecke in der Atmosphäre zurückgelegt hat; daß sie auf diesem Weg nicht ungeändert bleibt, dafür liefern die Beobachtungen auf hohen Bergen den besten Beweis. Dort, wo die Sonnenstrahlen erst einen weit kürzeren Weg in der Atmosphäre zurückgelegt haben, ist die Intensität der Strahlung unvergleichlich größer; mitten in Eis und Schnee empfindet man den Sonnenschein als eine oft geradezu unangenehme Wärme. Sollte es nun nicht möglich sein, aus dieser mit der Höhe wachsenden Intensität der Strahlung auf die Intensität an der Grenze der Atmosphäre zu schließen?

Das Problem ist also das, den Energiestrom, welcher sich von der Sonne auf unsere Erde ergießt, seinen ganzen Weg entlang zu verfolgen. Was kommt an der Grenze der Atmosphäre an? was an der Erdoberfläche? Was wird aus der Differenz längs des Weges durch die Atmosphäre? Auf jede dieser Fragen werden wir eine Antwort geben müssen: sowohl in Betreff der quantitativen Bestimmung der in dieser Strahlung der Erde zugeführten Wärmemenge, als auch der Qualität der Strahlen. Sollten sich vielleicht an der Grenze der Atmosphäre andere Wellenlängen vorfinden als unten an der Erdoberfläche? All diese Fragen müssen wir beantworten, denn erst, wenn wir die Geschichte jedes einzelnen Sonnenstrahls auf seinem Durchgange durch die Atmosphäre kennen, ist auch die Wirkung bestimmt, die er längs seines Weges auszuüben vermag.

§ 9. Messung der Sonnenstrahlung.

Vor allem bedarf man zu diesem Zweck eines Instrumentes, mit Hilfe dessen wir die gesamte Sonnenstrahlung auffangen und messen können. Wir haben im Ruß einen Körper kennen gelernt, welcher alle Strahlen fast vollständig auffangt. Wenn wir also ein Thermometer mit einer Rußschichte überziehen, die Sonnenstrahlen darauffallen lassen, so wird dasselbe, da sich die Energie der absorbierten Strahlen in Wärme verwandelt, steigen, und wir werden aus der Temperatursteigerung auf die Wärme schließen können, die dem Thermometer zugeführt wurde. Die Bestimmung der Strahlung würde in der That gar keine Schwierigkeiten bieten, wenn nicht das geschwärzte Thermometer, sobald seine Temperatur die der Umgebung übersteigt, durch Strahlung, Leitung u. s. w. Wärme an die kältere Umgebung verlieren würde.

Man hat diese Schwierigkeit beispielsweise bei Violles Actinometer (Strahlenmesser) dadurch behoben, daß man die geschwärzte Kugel des Thermometers T T′ (Fig. 2) im Mittelpunkt einer Hohlkugel anbrachte, die durch hindurchströmendes Wasser w w auf konstanter Temperatur erhalten wird. Der Sonnenstrahlung kann in einem gegebenen Momente der Zutritt durch eine Oeffnung o gestattet werden, und man beobachtet nun die Erwärmung unter dem Einflusse erstlich der zugeführten Sonnenstrahlung, und zweitens des Wärmeverlustes an die Umgebung von konstanter, aber bekannter Temperatur. Das Thermometer wird sich so lange erwärmen, bis sich die Zufuhr und der Verlust von Wärme das Gleichgewicht halten.

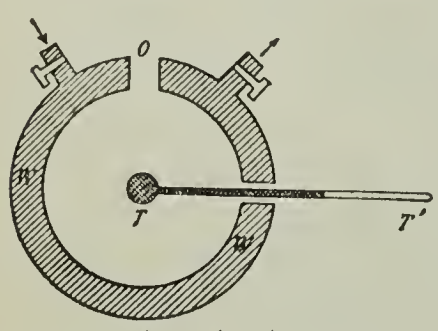


Fig. 2. Violle's Actinometer.

Es ist nun aber durchaus nicht schwer, durch eine zweite Beobachtung den Verlust an Wärme zu bestimmen. Wir brauchen nur den Zutritt der Sonnenstrahlung, wenn sich das Thermometer erwärmt hat, wieder abzusperren. Was werden wir dann beobachten? Die Temperatur des Thermometers wird langsam zu sinken beginnen, wir beobachten ja jetzt allein den Wärmeverlust an die kältere Umgebung. Kennen wir aber den letzteren, so können wir aus der Anfangsbeobachtung, bei welcher wir Einstrahlung und Verlust gemessen haben, den letzteren ausscheiden und finden so den Betrag der Strahlung auf eine bestimmte, durch den Durchmesser der Thermometerkugel gegebene Fläche.

In neuerer Zeit hat Chwolson ein wesentlich besseres Actinometer konstruiert. Dasselbe besteht, wie die nebenstehende Figur 3 zeigt, aus zwei geschwärzten Kupferplatten PP′ deren Mittelpunkte an der Rückseite durch einen Neusilberdraht DD′ verbunden sind. An den Rändern setzt sich der Draht fort und führt zu einem Galvanometer G, an dem man sofort einen Ausschlag beobachten kann, sobald auch nur ein ganz schwacher Strom durch den Draht fließt.

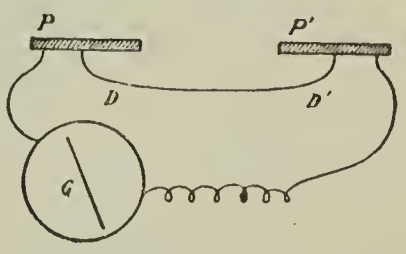


Fig. 3. Chwolson's Actinometer.

Es kann nun abwechselnd je eine Platte der Sonnenstrahlung ausgesetzt werden, während die andere durch einen vorgesetzten Schirm beschattet wird. Die Temperatur der ersteren wird dann wieder durch Einstrahlung und Wärmeverlust an die Umgebung bestimmt, die der letzteren allein durch den Wärmeverlust. Sobald nun die Temperatur der Platten eine ungleiche geworden ist, wird ein Thermostrom den Draht durchfließen, und wir werden aus dem Ausschlag

des Galvanometers auf die Temperaturdifferenz schließen können. Dieser Apparat, dessen Hauptvorzug darin besteht, daß gleichzeitig an der einen Platte Einstrahlung + Verlust, an der anderen der Verlust allein beobachtet wird, und daß man alle Fehlerquellen genau in Rechnung ziehen kann, gestattet, die Sonnenstrahlung mit großer Genauigkeit zu messen. Bisher ist aber mit einem derartigen Apparat erst eine geringe Zahl von Beobachtungen, und zwar in Pawlowsk, angestellt worden.

Eine längere Beobachtungsreihe, allerdings mit einem weniger genauen Apparate, liegt nur von Montpellier vor. Dort hat man täglich, wofern es die Witterung gestattete, die Intensität der Sonnenstrahlung gemessen.

Montpellier.

Monat	Tageslänge Stunden	Sonnenschein[1]) Prozente	Intens. d. Str. Calorien	Wärme pro Tag Calorien	Durchlässigkeit[2]) Prozente
Jan.	9·5	41	1·04	82	70
Febr.	10·5	47	1·06	127	64
März	12·0	48	1·09	184	57
April	13·2	46	**1·16**	229	57
Mai	14·7	53	1·15	296	51
Juni	**15·4**	56	1·09	311	48
Juli	15·0	62	1·10	**325**	47
Aug.	14·0	**67**	1·06	295	48
Sept.	12·6	54	1·05	225	56
Okt.	11·0	48	1·03	135	59
Nov.	9·8	38	1·04	90	67
Dez.	9·0	36	0·97	61	**71**

[1]) Verhältnis der wirklichen Sonnenscheindauer zur möglichen: d. h. von je 100 Minuten, während welcher die Sonne thatsächlich am Himmel steht, scheint sie 41, 47 . . . Minuten.

[2]) Wenn die Sonne im Zenith stünde.

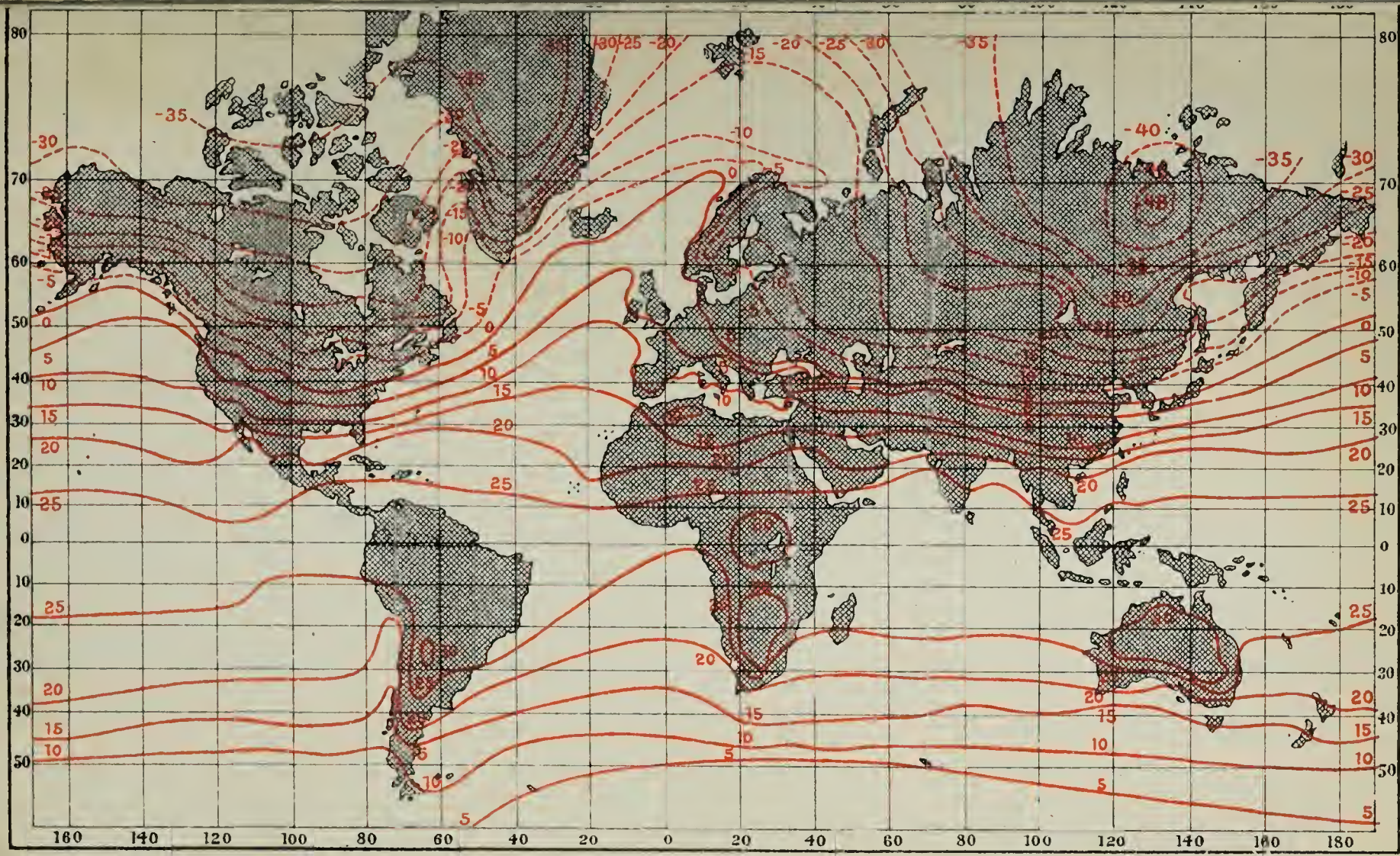


Fig. 17. **Isothermen im Januar.** —— Temperaturen über Null. ----- Temperaturen unter Null.

Wir haben aber schon gesehen, daß die Intensität der Strahlung wesentlich davon abhängt,[1]) wie dick die Atmosphärenschichte ist, welche die Strahlen zu durchsetzen haben. Es ist deshalb selbstverständlich, daß bei niedrigerem Sonnenstand, wenn der Strahlenweg A'B (Fig. 4) größer ist als AB bei hohem Sonnenstande, die Intensität in B, dem Beobachtungsort an der Erdoberfläche EE', eine andere sein wird; will man daher vergleichbare Messungen erhalten, so sind dieselben alle auf dieselbe Sonnenhöhe zu beziehen.

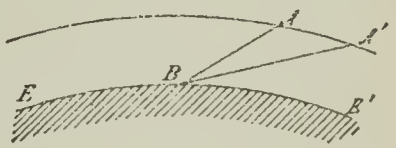


Fig. 4.

Die in der Tabelle (S. 32 Kol. 3) angegebenen Intensitäten der Sonnenstrahlung sind in Montpellier stets gegen Mittag beobachtet worden. Diese Zahlen geben an, wie viel Wärme einem Quadratcentimeter bei senkrechtem Einfallen der Strahlen in der Minute zugeführt wird. Diese Wärmemenge beträgt etwa 1 Calorie, d. h. sie ist so groß, daß sie 1 Gramm Wasser um 1 ° C zu erwärmen vermag. Sie ist im Winter kleiner, im Sommer größer.

Da man nun aber die Tageslänge in Stunden kennt, da man auch weiß, wie lange im Durchschnitt die Sonne während des Tags wirklich scheint und nicht durch Wolken abgehalten wird,[2]) so kann man leicht ermitteln, wie viel Wärme im Lauf eines Tages auf 1 cm^2 des Erdbodens fällt. Diese Daten enthält die vierte Kolumne; dabei fällt uns sofort der große Gegensatz zwischen Sommer und Winter auf. Während des ganzen Sommers werden einem Quadratcentimeter der Erdoberfläche in Montpellier fast 29 000, im Winter nur

[1]) Pouillet hat für diese Abhängigkeit sogar ein Gesetz gefunden.

[2]) Die Tabelle giebt an, wie viel Prozente von der ganzen Tageslänge, also der möglichen Sonnenscheindauer, die Sonne wirklich scheint.

wenig über 8000, im Frühjahr etwa 21000, im Herbst 14000 Calorien zugeführt; man kann somit die gesamte gegen 1 cm^2 gesandte Sonnenstrahlung auf rund 72000 Calorien schätzen, d. h. sie wäre im Stand eine Eisschichte von etwa 10 Meter Dicke zu schmelzen.

Wie die letzte Kolumne der Tabelle zeigt, ist auch die Durchlässigkeit der Atmosphäre, welche man durch Beobachtung der Strahlung bei niedrigem und hohem Sonnenstand leicht ermitteln kann, im Lauf des Jahres verschieden; im Sommer ist sie gering, im Winter größer, und im Mittel würden bei Zenithstellung der Sonne nur etwa 58 % der Sonnenstrahlen an der Erdoberfläche anlangen.

Deutlich geht dieser Einfluß der Atmosphäre aus nachstehender Uebersicht hervor, welche Violle berechnet hat. Es gelangen nämlich, und zwar wieder, wenn die Sonne im Zenith stünde, von 100 % an der Grenze auffallenden Strahlen bis

Montblanc	Grands Mulets	Bossongletscher	Grenoble	Paris
(4810 m)	(3050 m)	(1220 m)	(215 m)	(60 m)
94 %	89 %	79 %	71 %	68 %.

§ 10. Verteilung der Intensität auf die einzelnen Wellenlängen.

Weit schwieriger, als die Bestimmung der Totalintensität der Sonnenstrahlung, ist die Ermittlung ihrer Qualität. Zu diesem Behuf ist festzustellen, wie sich die Gesamtintensität auf die einzelnen Strahlenarten, welche uns die Sonne zusendet, verteilt. Durch langjährige Messungen mit einem äußerst feinen und empfindlichen Instrument, dem „Bolometer", ist es dem Amerikaner Langley gelungen, in diese Frage Klarheit zu bringen. Man kann nämlich die Sonnenstrahlung nicht bloß durch ein Prisma, sondern auch durch

ein auf einem Spiegel eingeritztes, äußerst feines Gitter in ein Spektrum ausziehen. Langley verwendete dazu ein Gitter, das 68 100 Linien längs eines Centimeters enthielt. Das Bolometer besteht nun im wesentlichen aus einem sehr dünnen, geschwärzten Platindraht, der durch dieses Spektrum hindurchbewegt wird und dabei die Wellenlängen absorbiert, welche auf dem $^1/_5$ mm breiten, vom Draht ausgefüllten Raum sich befinden. Durch die größere oder geringere Erwärmung des Drahtes wird nun seine Leitungsfähigkeit verändert, und da den Draht der Strom eines konstanten galvanischen Elementes durchfließt, so wird man aus der Aenderung des Stromes auf die Energie der betreffenden Strahlenarten schließen können.

Schon bei seinen ersten Messungen konnte Langley nachweisen, daß sich in den Sonnenstrahlen Wellenlängen von etwa 0·30 bis 3 Mikron (1 Mikron = 1 Tausendel Millimeter) vorfinden. Später gelang es ihm, Wellen bis zu 18

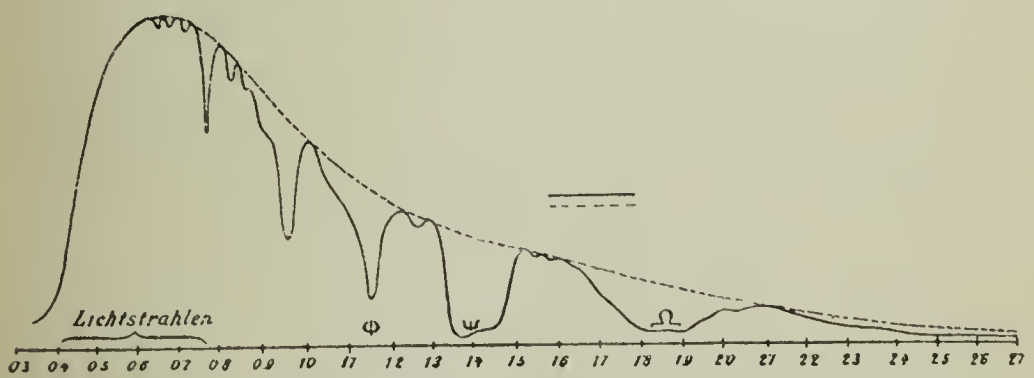


Fig. 5. Energieverteilung im Sonnenspektrum. —— Beobachtete Intensität. ····· Ideale Verteilung.

Mikron nachzuweisen; wahrscheinlich enthält aber das Sonnenspektrum Wellenlängen bis zu 30 Mikron. Die leuchtenden Strahlen machen somit nur etwa $^1/_{60}$ der ganzen Ausdehnung des Spektrums aus; da aber nach Fig. 5, welche die Energieverteilung im Sonnenspektrum nach den Messungen Langleys darstellt, gerade die Intensität der leuchtenden Strahlen sehr

groß ist, so macht die Energie derselben etwa ein Drittel der Gesamtstrahlung aus.

Wie aber im leuchtenden Teile an manchen Stellen dunkle Linien (die bekannten Fraunhofer'schen Linien) auftreten, so zeigt uns die Figur auch im dunklen Teile an manchen Stellen Unterbrechungen, d. h. Wellenlängen, die, wenigstens an der Erdoberfläche, im Sonnenspektrum fehlen. Sollten dieselben etwa von der Erdatmosphäre absorbiert worden sein? Langley hat die auffallendsten dieser „kalten Bänder" mit den griechischen Buchstaben Φ, Ψ, Ω bezeichnet, ja später noch ein Band X bei 2·64, ein Band Y bei 4.25, und endlich ein breites Band zwischen 5 und 11 Mikron nachgewiesen.

Auch die Entscheidung der Frage, ob diese Energieverteilung an der Grenze der Atmosphäre dieselbe sei, hat Langley durch Bolometermessungen auf dem Mt. Whitney angebahnt. Er ist dabei zu dem überraschenden Ergebnisse gelangt, daß die verschiedenen Wellenlängen in ganz verschiedenem Maße von der Atmosphäre durchgelassen werden: im allgemeinen die längeren Wellenlängen viel leichter, die kürzeren weniger leicht. So würden, wenn die Sonne im Zenith stünde, z. B. von der Wellenlänge 0·375 Mikron 39·2 %, von 0·500 Mikron 54·4 %, von 0·800 Mikron 76·3 % und endlich von 1 Mikron sogar 79·9 % von der Atmosphäre durchgelassen. Neben dieser, alle Wellenlängen umfassenden regelmäßigen Abschwächung finden wir an manchen Stellen (das sind eben die kalten Bänder) eine unregelmäßige Abschwächung, ja volle Auslöschung gewisser Wellenlängen. Von dieser hochbedeutsamen Erscheinung werden wir später noch zu sprechen haben.

Was ist aber die Folge der regelmäßig mit der Verkürzung der Wellenlängen zunehmenden Schwächung der Strahlen? Offenbar die, daß, je länger der Weg ist, den

die Strahlen in der Atmosphäre zurücklegen, um so mehr die kürzeren Wellenlängen geschwächt werden, also das Intensitätsmaximum, wie es Fig. 6 zeigt, immer weiter gegen das rote Ende gerückt wird. Bei einer Sonnenhöhe von etwa 23 Grad (Kurve III) liegt das Maximum bei 0·66 Mikron im Rot, bei einer Sonnenhöhe von etwa 54° (Kurve II) bei 0·59 Mikron im Gelb, und an der Grenze der Atmosphäre (Kurve I) würde dasselbe bei 0·52 Mikron im Grün liegen. Langley meint, an der Grenze der Atmosphäre würde die Sonne uns blau erscheinen, weil eben die blauen und grünen Strahlen dort unverhältnismäßig stärker vertreten sind, als an der Erdoberfläche.

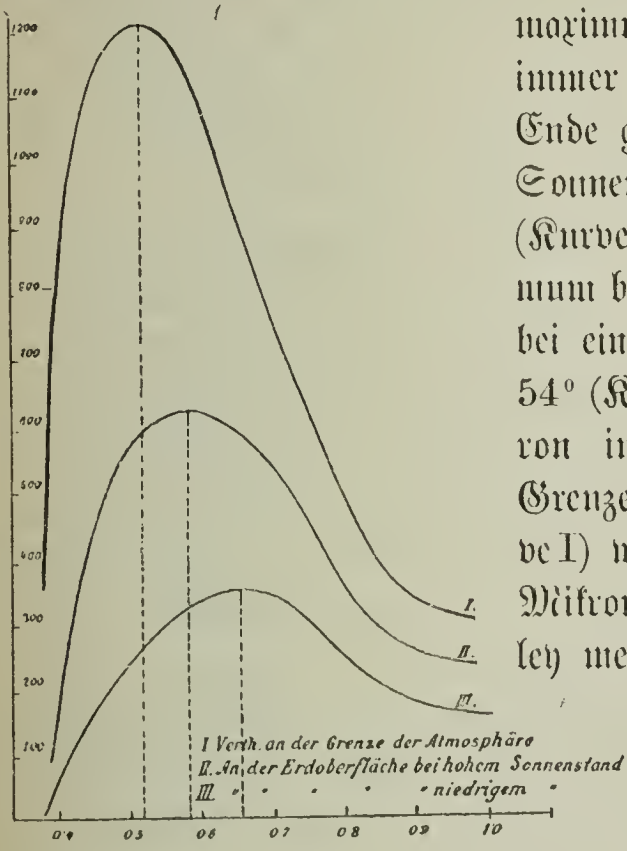


Fig. 6.
Energieverteilung bei verschiedenem Sonnenstand.

§ 11. Die Solarkonstante.

Durch Langleys schöne Arbeiten sind jene Fragen, die das Problem der Sonnenstrahlung enthielt, teilweise bereits beantwortet. Wir kennen die Gesamtenergie der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche wie ihre Verteilung auf die einzelnen Strahlenarten; da wir aber gesehen haben, wie jede einzelne Wellenlänge beim Durchgang durch die Atmosphäre geschwächt wird, so haben wir auch auf die Energieverteilung an der Grenze der Atmosphäre schließen können. Damit ist

aber, und zwar durch Summation der Energien der einzelnen Strahlenarten, die Gesamtstrahlung, welche an der Grenze der Atmosphäre bei senkrechtem Auffallen der Strahlen auf ein Quadratcentimeter in der Minute entfällt, also die „Solarkonstante", gegeben. Nach Langley beträgt dieselbe 3, nach neueren Messungen vielleicht sogar 4 Calorien.

Diese Größe wird je nach der Entfernung der Erde von der Sonne größer oder kleiner sein; unsere Messungen sind aber noch nicht genau genug, um so geringe Unterschiede feststellen zu können. Ebensowenig ist es bisher gelungen, einen Unterschied in der Strahlung je nach dem Stande der Sonnenflecken nachzuweisen. Hingegen bereitet es nun keine Schwierigkeiten mehr, anzugeben, wie viel Energie ein Quadratcentimeter der Sonnenoberfläche pro Minute aussendet. Man kann dieselbe auf etwa 150000 Calorien schätzen, d. h. sie ist so groß, wie die Strahlung eines glühenden Kohlenkörpers von etwa 6000 ° C. Da das Emissionsvermögen der Sonne kaum viel geringer sein dürfte, als dasjenige des Rußes oder der Kohle, so wird man etwa 6000 ° C als Temperatur der Sonnenoberfläche annehmen dürfen.

§ 12. Der Energieverlust in der Atmosphäre.

Wir stehen nun vor der Frage, was denn aus der Energie der Strahlen wird, welche bei deren Durchgang durch die Atmosphäre scheinbar verloren geht. Die nächstliegende Annahme wäre wohl die, daß dieselben von der Luft absorbiert und zur Erwärmung der letzteren verwendet werden. Wenn wir aber an die Erscheinung denken, daß ein in ein dunkles Zimmer fallender Lichtstrahl uns an den Staubteilchen der Luft dadurch sichtbar wird, daß an jedem einzelnen dieser Teilchen das Licht nach allen Seiten hin „diffus" reflektiert

wird, so muß man auch die Möglichkeit zugeben, daß die Schwächung der Strahlen in der „diffusen Reflexion," von den Luft- oder von den Staubteilchen der Atmosphäre herrühren könnte.

In der That haben Theorie und Versuch gelehrt, daß die eine Art, die regelmäßig mit abnehmender Wellenlänge wachsende Schwächung, allein auf Rechnung der diffusen Reflexion der Strahlen zu setzen ist, und daß hierin die Ursache liegt, warum, wenn die Sonne über dem Horizont steht, auch der Himmel uns hell erscheint und uns einen beträchtlichen Anteil an Licht und Wärme zusendet. Noch heute aber ist es eine offene Frage, ob die Luft selbst oder die Staubpartikelchen es sind, welche die zurückbehaltene Strahlung nach allen Seiten zerstreuen.

Wie aber steht es mit der ganz unregelmäßig gerade an bestimmten Stellen des Spektrums auftretenden Auslöschung der Strahlen, die wir als die „kalten Bänder" Langleys kennen gelernt haben? Sollte dieser Erscheinung nicht eine andere Ursache, etwa wirkliche Absorption, zu Grunde liegen? Die Untersuchungen Paschens haben auch diese Frage bejaht; ja es gelang, im Wasserdampf und in der Kohlensäure direkt die Bestandteile der Atmosphäre festzustellen, welche diese Strahlenarten auffangen und so zur Entstehung der einzelnen Bänder Veranlassung geben. Es zeigt nämlich der Wasserdampf bei jenen Strahlenarten Absorptionsmaxima, wo Langley die Bänder Ψ, Ω, X und das Band zwischen 5 und 11 Mikron nachwies. Das Band X kommt übrigens zum Teil auch auf Rechnung der Kohlensäure, welche gleichfalls hier und bei Band Y ein Absorptionsmaximum aufweist. Damit ist die hohe Wichtigkeit dieser beiden Gase für die Atmosphäre klargelegt, und wir verstehen jetzt auch, warum im Winter

bei trockener Luft die Durchlässigkeit der Atmosphäre eine viel größere ist, als im Sommer.

§ 13. Strahlung des Himmels und der Atmosphäre.

Außer der eben besprochenen diffusen Strahlung des Himmels, die ja im Grunde nur eine nach allen Seiten zerstreute Sonnenstrahlung ist, hat man früher auch an eine wirkliche Strahlung des Himmels gedacht, da man vielfach dem Weltraum eine bestimmte Temperatur, gewöhnlich etwa — 150° C, zuschrieb. Heute wissen wir, daß wir dem Weltraum, wenn wir überhaupt von einer „Temperatur" desselben sprechen wollen, nur die des absoluten Nullpunktes, d. h. — 273° C zuschreiben können, daß also nicht von einer Strahlung desselben, sondern nur von einer Ausstrahlung der Erde in den Weltraum die Rede sein kann. Die Sterne kommen als Wärmespender für die Erde nicht in Betracht; nur an der beleuchteten Mondoberfläche hat man das Vorhandensein einer allerdings minimalen und praktisch nicht in Betracht kommenden Strahlung nachzuweisen vermocht.

Wenn trotzdem auch in den Nachtstunden, in denen bloß die Ausstrahlung in den kalten Weltraum erfolgt, die Temperatur an der Erdoberfläche nur sehr langsam sinkt, so hat dies seinen Grund darin, daß die Atmosphäre selbst eine bedeutende Strahlung gegen jeden Punkt der Erdoberfläche aussendet. Maurer hat direkte Messungen dieser Strahlung der Atmosphäre vorgenommen und gefunden, daß dieselbe 0·37 Calorien pro Minute und Quadratcentimeter betrage. Eine Untersuchung der in dieser Strahlung vorkommenden Wellenlängen wurde bisher noch nicht ausgeführt. Doch ist wohl nicht daran zu zweifeln, daß diese Strahlung von dem Wasserdampf und der Kohlensäure in der Atmosphäre herrührt,

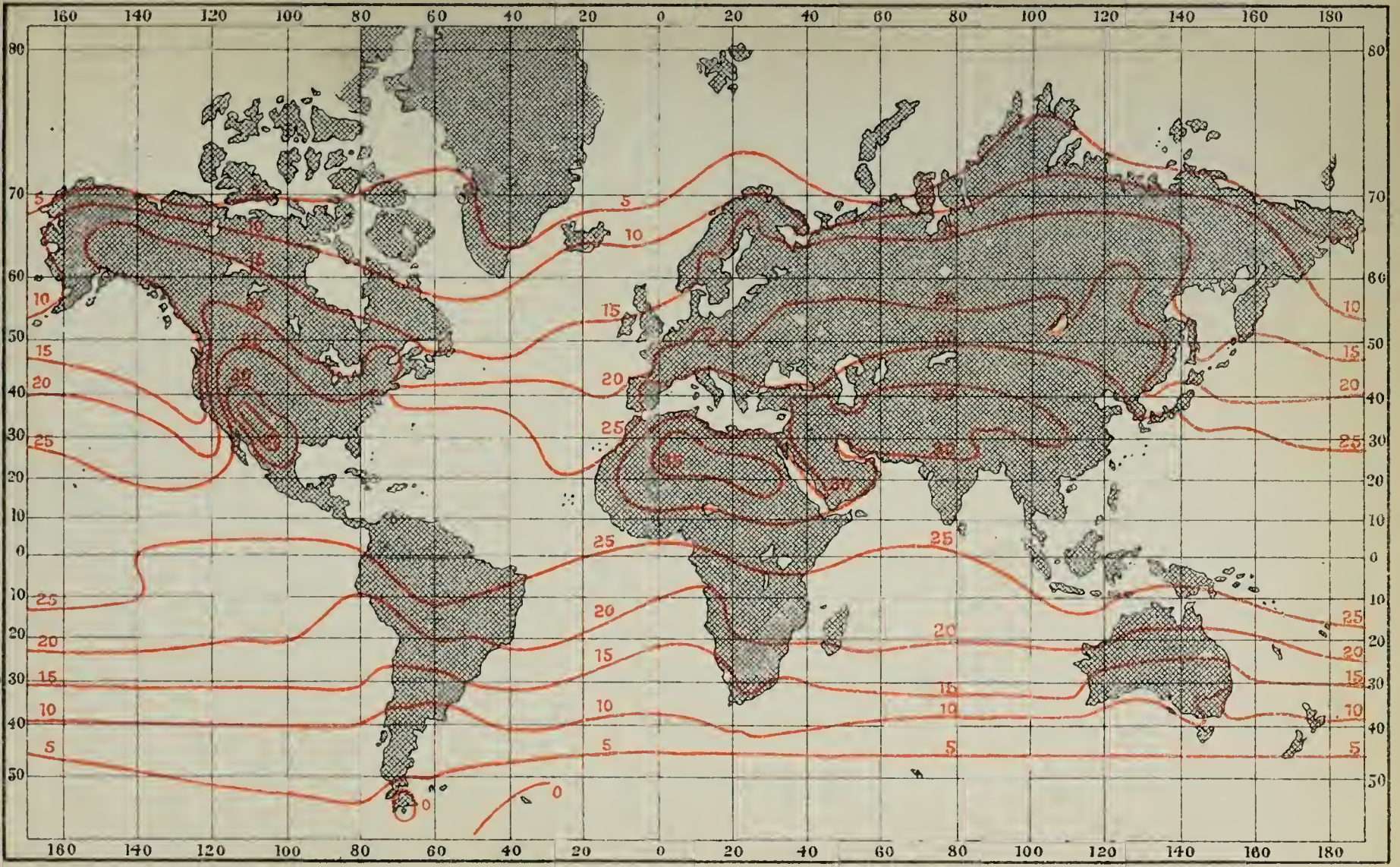


Fig. 18. **Isothermen im Juli.** —— Temperaturen über Null. - - - - Temperaturen unter Null.

und daß darin gerade jene Strahlenarten vorkommen, die uns in der Sonnenstrahlung (in den kalten Bändern) fehlen. Es ist ja ein physikalisches Gesetz, daß ein Körper, wenn er selbst strahlt, gerade jene Wellenlängen aussendet, die er sonst absorbiert.

Die Temperatur.

§ 14. Die Temperatur und ihre Messung.

Unter allen Veränderungen in der Atmosphäre machen sich die der Temperatur, d. h. des Zustandes, der sich für uns in der Empfindung von Wärme und Kälte äußert, am allermeisten fühlbar. Wir bedienen uns zu ihrer Messung des Thermometers (Figur 7), dessen Wesen auf der Eigenschaft der Flüssigkeiten und anderer Körper beruht, sich bei steigender Temperatur auszudehnen und umgekehrt sich zusammenzuziehen, wenn die Temperatur fällt.

Fig. 7. Thermometer.

Es ist an sich gleichgiltig, welche Flüssigkeit dabei als thermometrische Substanz zur Verwendung kommt; doch besitzt Quecksilber wegen seiner regelmäßigen Ausdehnung und als guter Wärmeleiter mannigfache Vorzüge. Da es aber bei — 38.5° C fest wird, so wendet man zur Messung tieferer Temperaturen vielfach das Alkoholthermometer an, das freilich die große Schattenseite hat, daß der Alkohol bei hoher Temperatur verdunstet und sich bei folgender Abkühlung an dem oberen Ende des Thermometerrohres wieder kondensiert.

Zur Bestimmung eines Ausgangspunktes und zur Wahl einer Einheit hat man sich für zwei Fixpunkte entschieden: die

Temperatur des schmelzenden Eises und die des siedenden Wassers. Man hat sich geeinigt, bei den zu wissenschaftlichen Zwecken verwendeten Thermometern diesen Abstand, den „Fundamentalabstand", in 100 Teile zu teilen. Da nun zuerst Celsius diese Einteilung gewählt hat, so nennt man einen solchen Teil einen „Grad Celsius", wobei der Eispunkt als Ausgang der Zählung gilt. Da aber vielfach auch tiefere Temperaturgrade zu bestimmen sind, so sah man sich gezwungen, die Teilung unterhalb des Nullpunkts fortzusetzen. Zum Unterschied von den emporsteigenden Graden bezeichnet man diese Temperaturgrade durch den Strich —, das sogenannte Minuszeichen, z. B. — 10° C., d. h. 10 Grad Kälte nach Celsius.

Neben dem genannten Thermometer sind noch andere in Gebrauch: das Réaumursche, bei welchem der Fundamentalabstand in 80 Teile geteilt ist; ferner, besonders in England, das Fahrenheitsche Thermometer, bei welchem dieser Abstand in 180 Teile geteilt ist, aber der Eispunkt nicht mit 0, sondern mit 32° Fahrenheit bezeichnet ist. Der Nullpunkt liegt also hier viel tiefer.

Nach dieser Auseinandersetzung ist es nicht schwer, diese drei Thermometersysteme aufeinander zu reduzieren; denn es sind:

$$x^\circ \text{ Celsius} = \frac{4}{5}x^\circ \text{ Réaumur} = \left(32 + \frac{9}{5}x\right)^\circ \text{ Fahrenheit}$$

$$x^\circ \text{ Réaumur} = \frac{5}{4}x^\circ \text{ Celsius} = \left(32 + \frac{9}{4}x\right)^\circ \text{ Fahrenheit}$$

$$x^\circ \text{ Fahrenheit} = \frac{5}{9}(x - 32)^\circ \text{ Celsius} = \frac{4}{9}(x - 32)^\circ \text{ R.}$$

Von wesentlicher Bedeutung für die Konstruktion von Thermometern ist die Glassorte, weil manche Glasarten die Eigenschaft haben, nachdem sie geblasen wurden, sich im Lauf der Zeit zusammenzuziehen, so daß bei den daraus ge-

fertigten Thermometern, deren Nullpunkt ursprünglich richtig bestimmt war, durch die Contraction der Glaskugel dieser allmählich hinaufgerückt wird. So kann es kommen, daß nach Jahren ein solches Thermometer einen vollen Grad oder mehr zu hoch zeigt. Das „Jenaer" Glas, an einem blauvioletten Streifen auf der Rückseite der Glasröhren kenntlich, hat diese unangenehme Eigenschaft nicht und wird deshalb jetzt bei genauen Thermometern allgemein angewendet.

Um auch zu Zeiten, wo man nicht gerade ablesen kann, Temperaturangaben zu erhalten, hat man „Maximum- und Minimum-Thermometer" und „selbstregistrierende" Thermometer (Thermographen) konstruiert. Die Einrichtung der ersteren ist verschieden, doch kommt meist ein Indexstift zur Verwendung, der durch die thermometrische Substanz bis zu einer höchsten bezw. tiefsten Stelle getrieben wird, dort aber liegen bleibt und nach der Ablesung durch einen Magnet wieder eingestellt werden muß.

Bei den Thermographen[1]) dient als thermometrische Substanz Alkohol, der in einem flachen, halbmondförmig gebogenen Metallgefäß G (Fig. 8) eingeschlossen ist und durch seine Ausdehnung die Krümmung dieses Gefäßes verändert. Ein Hebelwerk überträgt diese Aenderung auf einen Schreibhebel H, der mit der Temperatur steigt und fällt, und dessen Stand auf einem durch ein Uhrwerk vorüberbewegten Papierstreifen P continuierlich eingezeichnet wird.

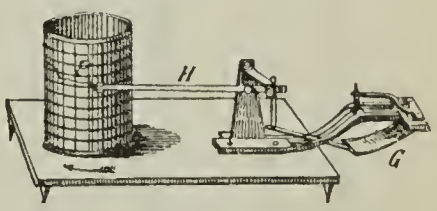


Fig. 8. Thermograph.

[1]) Diese, sowie die meisten selbstregistrierenden Apparate, werden in vorzüglicher Qualität von der Firma Frères Richard in Paris hergestellt, sie sind übrigens in allen größeren Geschäften mit meteorologischen Instrumenten zu haben.

§ 15. Aufstellung der Thermometer; Aßmanns Aspirationspsychrometer.

Wo sollen wir nun die Temperatur der Luft messen? Wie die Erfahrung lehrt, finden wir fast identische Werte, ob wir die Temperatur der Luft in 2, 3, 5, ja selbst 10 m Höhe über dem Erdboden messen. Nur dann finden wir wesentlich abweichende Werte, wenn wir uns dem Erdboden bedeutend nähern. Aus diesem Grunde hat man eine Thermometerhöhe von mindestens 2 m über dem Boden als Regel aufgestellt.

Da aber auch das Glas einen großen Teil der Sonnenstrahlen zu absorbieren vermag, so ist das Instrument so aufzustellen, daß jeder Sonneneinfluß abgehalten ist. Sonst wirkt jedes Thermometer als Actinometer, d. h. es erwärmt sich unter dem Einfluß der absorbierten Strahlen bis zu jener Temperatur, bei welcher der Wärmeverlust an die kältere Umgebung der Wärmezufuhr durch die Sonnenstrahlung das Gleichgewicht hält. Ein solches Thermometer zeigt also notwendigerweise immer zu hoch. Nicht minder schädlich ist die Benetzung der Thermometer durch den Regen, da ja sofort nach dem Regen die Feuchtigkeit an der Thermometerkugel verdunsten, dazu aber Wärme verbrauchen, also die Temperatur des Quecksilbers unbedingt unter die Lufttemperatur herabdrücken würde.

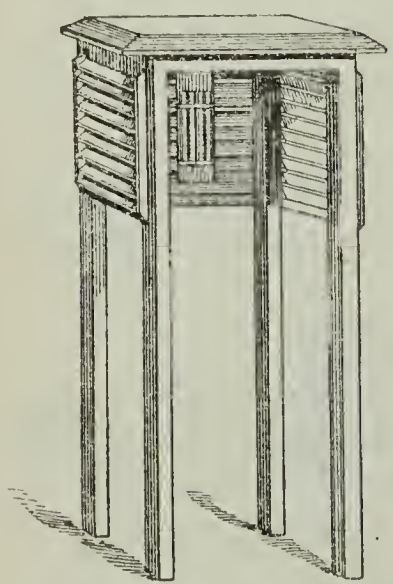


Fig. 9. Thermometerhütte.

Man hat deshalb zum Schutz gegen Sonne und Regen möglichst luftige Jalousiehütten (Fig. 9) zur Aufstellung der Thermometer verwendet, die sich freilich unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen auch erwärmen. Oder man verwendet Blechgehäuse (Fig. 10) im Nordschatten des Hauses, etwa ½ m von der Wand entfernt; aber, wenn auch diese Aufstellung im ganzen recht gut ist, so werden doch auch diese Beschirmungen im Hochsommer oft von der Sonne erwärmt und die Thermometer dadurch beeinflußt.

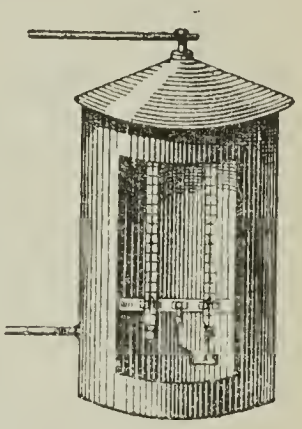


Fig. 10. Thermometer-Beschirmung.

Das Problem der Thermometeraufstellung besteht also offenbar darin, eine Beschirmung zu konstruieren, die selbst schon die Lufttemperatur hat und deshalb das Thermometer nicht mehr beeinflussen kann. Dieses Problem ist nun im Aßmannschen Aspirationspsychrometer[1]) auf das beste gelöst worden. Aßmann schließt jedes Thermometer[2]) in eine cylindrische, glänzend polierte, doppelwandige Hülle Hh hH (Fig. 11) ein, durch welche in der Richtung der Pfeile mittelst eines durch ein Uhrwerk getriebenen Aspirators A die Luft, deren Temperatur gemessen werden soll, hindurchgesaugt wird. Mag nun auch dieses Instrument im vollen Sonnenschein verwendet werden und die äußere Hülle HH sich um mehrere Grade über die Lufttemperatur erwärmen, so weicht, da einerseits die Strahlung der äußeren blanken Hülle

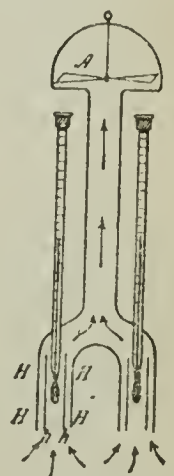


Fig. 11. Aßmanns Aspirationspsychrometer.

[1]) Dieses Instrument wird von Fueß in Berlin konstruiert.

[2]) Er verwendet zwei, deren eines zur Feuchtigkeitsbestimmung (vergl. § 35) benützt wird.

doch nicht so beträchlich ist, andererseits aber fortwährend neue Luft an der inneren Hülle hh vorüber geführt wird, die Temperatur dieser letzteren nicht einmal um $^1/_{10}$° C von der Lufttemperatur ab. Das eingeschlossene Thermometer wird somit nicht mehr merklich beeinflußt. Wofern nur die Geschwindigkeit des durchgesaugten Luftstromes nicht weniger als 2·3 m pro Sekunde beträgt, vermag man mit Hilfe eines solchen Apparates in der That die wahre Lufttemperatur zu ermitteln. Die angestellten Versuche haben gelehrt, daß wir mit demselben im Schatten, wie in der Sonne dieselbe Temperatur beobachten. Es ist somit ganz unrichtig, von einer Temperatur „in der Sonne" zu sprechen; denn die Luft hat hier die gleiche Temperatur wie im Schatten; vielmehr zeigt das Thermometer, das von der Sonne bestrahlt wird, unrichtig, nämlich zu hoch, aber je nach der Glassorte in verschiedenem Maße. Es verhält sich das Thermometer ähnlich wie unser Körper: unsere Empfindung von Wärme und Kälte hängt nicht allein von der Lufttemperatur ab, sondern wird wesentlich bedingt von der Wärmezu- oder abfuhr. So können wir es besonders in dunkler Kleidung bei intensiver Sonnenstrahlung ganz angenehm warm finden, wenn auch die Lufttemperatur vielleicht mehrere Grade unter Null beträgt.

§ 16. Der tägliche Temperaturgang.

Schon ein flüchtiger Blick auf ein beliebiges Thermogramm (Fig. 12 siehe Tafeln) läßt uns einen gewissen Gang der Temperatur während des Tages erkennen. Um jedoch die mannigfachen Unregelmäßigkeiten, wie sie einzelne Tage aufweisen, zu entfernen, pflegt man aus einer größeren Zahl von Tagen für jede Stunde ein Mittel zu ziehen: erst dieser „mittlere" tägliche Gang ist es, den man zur Grundlage weiterer Betrachtungen macht.

Fast überall sehen wir (vgl. Fig. 13 für Paris), daß das Minimum der Temperatur, je nach der Jahreszeit und Witterung verschieden, zwischen 4 und 8 Uhr früh eintritt, daß hierauf ein rascher Anstieg bis zu einem Maximum zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags erfolgt, worauf die Temperatur allmählich und immer langsamer bis zum Minimum wieder abfällt.

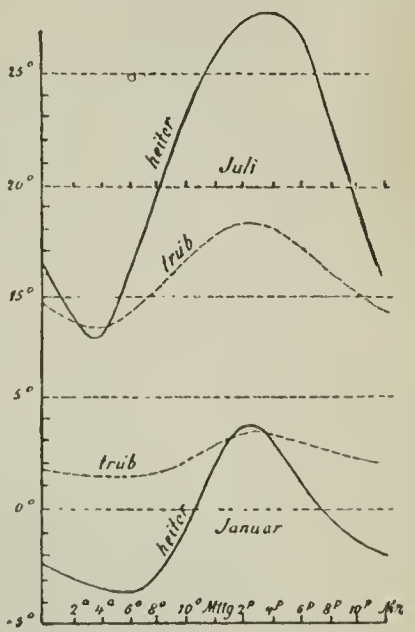


Fig. 13. Täglicher Temperaturgang zu Paris.

Die Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Werte der Temperatur eines Tages, die „Amplitude", zeigt sich jedoch nicht bloß nach der Jahreszeit und dem Wetter, sondern auch nach der Oertlichkeit sehr verschieden: wir sehen sie (Fig. 14) groß auf dem Kontinent (besonders in engen Thälern), klein auf dem Ozean und auf hohen Bergen.

Die Ursache dieses Ganges kann nur auf dem Wechsel von Tag und Nacht beruhen; und doch, wenn wir an den geringen Betrag der direkten Absorption der Sonnenstrahlen durch die Luft denken, werden wir diese Ursache nur zur Erklärung der kleinen Amplituden auf dem Meere und in höheren Luftschichten herbeiziehen können, während wir die Ursache der großen Amplituden auf dem Kontinente in

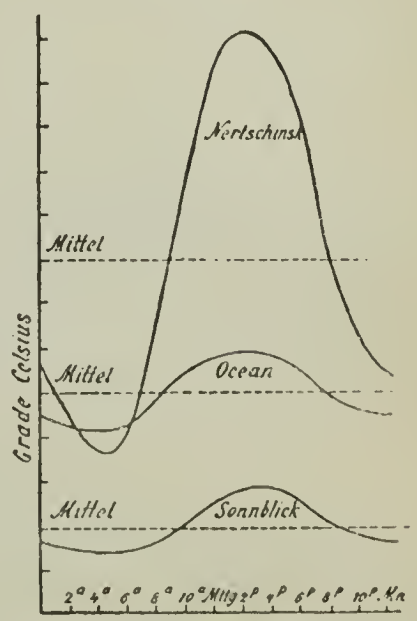


Fig. 14. Täglicher Temperaturgang von Nertschinks, Ozean, Sonnblick.

dem durch die Sonnenstrahlung erhitzten Erdboden zu suchen haben. Von diesem steigt die erwärmte Luft in Form feinster Strömchen empor, während dafür ein entsprechendes Quantum kalter Luft aus der Höhe herabsinkt. Dieser nicht mit der Wärmeleitung zu verwechselnde Vorgang, die „Konvektion," dieses Wechselspiel auf- und absteigender Luftströmchen, das man über erhitzten Flächen als ein eigentümliches Flimmern direkt beobachten kann, vermag sich nur auf dem Lande zu bilden, wo sich der Erdboden oft bedeutend über die Lufttemperatur erwärmt. Ueber dem Lande ist die Convektion zweifellos die Haupt-Ursache der Lufterwärmung während des Tages. Auf dem Meere, das nur wenig wärmer ist als die über ihm lagernde Luftschichte, fällt diese Ursache weg (vgl. S. 57).

Die Höhe, bis zu welcher sich diese Wärmezufuhr durch Konvektion erstreckt, wird man in der freien Atmosphäre im Sommer auf etwa 1000 m veranschlagen dürfen. Oberhalb derselben, wo sich nur noch der Einfluß der Absorption geltend macht, werden wir daher auch über dem Lande in der freien Atmosphäre[1]) nur eine Temperaturschwankung von etwa 1° C zu erwarten haben. In der That ist es Hann gelungen, aus dem wechselnden Gewicht der zwischen je zwei Berggipfeln gelegenen Luftschichte auf den Temperaturgang derselben zu schließen: er hat hier eine Schwankung von etwa 1° C, aber überraschenderweise eine Verspätung des Maximums bis auf 6 Uhr abends gefunden.

§ 17. Mitteltemperaturen.

Bei der großen Verschiedenheit der Temperatur während der einzelnen Tagesstunden ist eine Vergleichung der Tem-

[1]) Auf Bergen werden die Temperaturbeobachtungen durch die Bodenerhebung vielfach gestört sein.

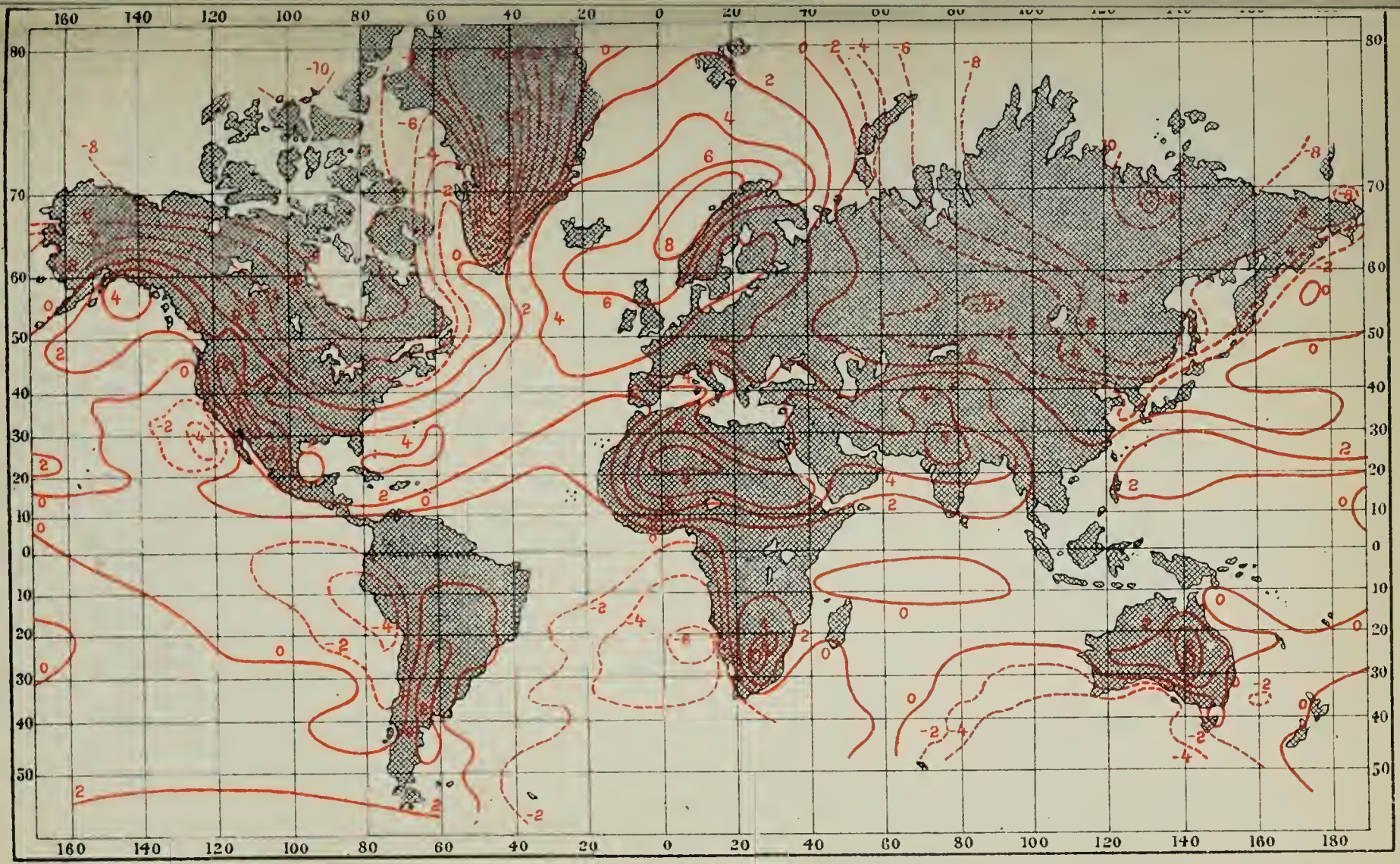


Fig. 21. **Isanomalen der Jahrestemperatur nach Precht.**

——— Temperaturen über dem Normalen. ------ Temperaturen unter dem Normalen.

peratur einzelner Tage oder auch ganzer Monate nur möglich, wenn man die Temperaturen der Einzelstunden zu einem Mittel, dem „Tagesmittel," vereinigt. Da jedoch nicht überall ein Thermograph zur Hand ist, so handelt es sich darum, wie man durch passende Wahl der Beobachtungsstunden doch Werte zu erhalten vermag, welche dem wahren Tagesmittel möglichst nahe kommen. Es hat sich herausgestellt, daß man schon mit täglich dreimaliger Beobachtung recht verläßliche Werte erhalten kann, und daß die Kombinationen 7^ha, 2^hp und 9^hp, aber auch 7^ha, 1^hp und 9^hp, sowie 6^ha, 1^hp, 10^hp zu den besten gehören. Bequemer ist die Kombination 8^ha, 2^hp und 8^hp, die jedoch im allgemeinen ziemlich stark vom wahren Mittel abweichende Temperaturen liefert.

Wie die Beobachtungen lehren, zeigen aber auch die wahren Mitteltemperaturen der einzelnen Monate, ja selbst das Jahresmittel in den verschiedenen Jahren beträchtlich von einander abweichende Werte. Wie viel Beobachtungsjahre sind also wohl notwendig, um wirkliche Mittelwerte zu erlangen?

Hann hat nachgewiesen, daß, um die Mitteltemperatur eines Monats bis auf 0·1° C genau zu erhalten, eine Beobachtungsreihe von mehreren hundert Jahren (z. B. 480 Jahre für ein Dezember-Mittel am Nordfuße der Alpen) erforderlich wäre. Es stünde fürwahr um manche Probleme der Meteorologie recht schlimm, wenn man nicht ein Mittel gefunden hätte, auch aus kürzeren Reihen verläßliche Daten zu gewinnen. Besonders Lamont, Dove und Hann lieferten den Nachweis, daß die Temperatur benachbarter Orte in verschiedenen Jahren immer im gleichen Sinne abweiche, so daß die Differenzen zwischen den einzelnen Orten so ziemlich dieselben bleiben. Wenn dem so ist, so ist es nicht schwer, wenn wir nur von einem Orte A eine

recht lange Beobachtungsreihe besitzen und das Normalmittel T kennen, von jedem beliebigen Orte B eine kürzere Reihe auf die lange von A zu reduzieren. Sei t′ das Mittel dieser kürzeren, vielleicht nur 10-jährigen Reihe von B, dann brauchen wir nur aus ebendenselben Jahren das Mittel t auf unserer Normalstation A zu ermitteln. Ist dann die Differenz $t' - t = d$ auch für eine längere Reihe dieselbe, so würde auch das langjährige Normalmittel T′ der Station B von T um d° C verschieden sein: wir brauchen deshalb nur diese Differenz an das langjährige Mittel der Normalstation A anzubringen, um jenes zu finden, das man in B bei einer gleichen Zahl von Jahren würde erhalten haben.[1]) Bei 100 km Entfernung zweier Stationen von einander genügen bei dieser Methode schon 12 Jahre, um bis auf 0.1° C genaue Mittel zu bekommen.

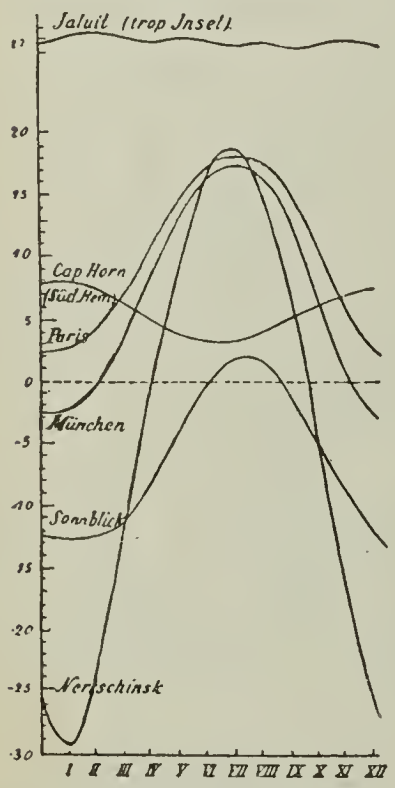


Fig. 15. Jährlicher Gang der Temperatur.

§ 18. Jährlicher Gang der Temperatur.

Auch der jährliche Gang, den die so erhaltenen Monatsmittel der Temperatur zeigen, weist (vergl. Fig. 15) bedeutende Verschiedenheiten auf. Kann man sich einen größeren Gegensatz denken, als den zwischen der jahraus jahrein fast unveränderlichen Temperatur der tropischen Insel Jaluit und jenem

[1]) $T' = T + d$.

Temperaturgegensatz von beinahe 50° C. zwischen Sommer und Winter, wie ihn das kontinentale Nertschinsk zeigt?

Die Ursachen der jährlichen Temperaturschwankung sind die Schiefe der Erdachse und die dadurch bedingte Sonnenhöhe und Tageslänge: diese schwankt (vergl. S. 32) in unseren Breiten zwischen 9·0 und 15.4 Stunden, bleibt aber in den Tropen das ganze Jahr hindurch dieselbe, wogegen am Pol ein halbjähriger Tag mit einer halbjährigen Nacht wechselt.

Je schiefer die Sonnenstrahlen auffallen, um so größer wird die Fläche AB (Fig. 16), auf welche sich ein Strahlenbündel von bestimmtem Querschnitte AA′, etwa 1 cm², verteilt, und um so weniger entfällt davon auf die Flächeneinheit des Bodens. Je höher die Sonne steht, um so mehr Wärme erhält der Boden (vergl. die vorletzte Kolumne auf S. 32). Im Sommer wird darum eine intensivere Erwärmung des Erdbodens eintreten, während bei niedrigem Stand im Winter die Ausstrahlung des Bodens überwiegt.

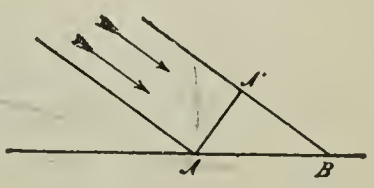


Fig. 16.

Je ärmer die Atmosphäre an Wasserdampf, je geringer also die Absorption der Strahlung wird, um so stärker macht sich dieser Gegensatz fühlbar, umso intensiver ist die Einstrahlung im Sommer und umso intensiver wird auch die Ausstrahlung im Winter. Auch im jährlichen Gange wird sich somit der Gegensatz zwischen Meer und Kontinent wie beim täglichen Gange selbst in derselben geographischen Breite geltend machen. Dieser Gegensatz wird aber noch verschärft durch die Eigenschaft des Wassers, sich vermöge seiner hohen specifischen Wärme nur langsam zu erwärmen, die aufgenommene Wärme aber sehr lange zu erhalten. Aus dieser Eigenschaft wie aus seinem geringem Absorptions- und Ausstrahlungs-

vermögen erklärt sich die Thatsache, daß sich das Meer nur schwer erwärmt, aber die einmal aufgenommene Wärme sehr lange behält, also im Sommer verhältnismäßig kalt, im Winter verhältnismäßig warm bleibt.

Wärmeverteilung über der Erdoberfläche.

§ 19. Die Isothermen.

Im Lauf der Zeit hat sich ein riesiges Material von Temperaturbeobachtungen aus allen Gebieten der Erde aufgehäuft. Wir vermögen auch die einzelnen Werte durch Reduktion auf eine bestimmte 30- oder 50jährige Epoche unter einander zu vergleichen. Niemand würde jedoch imstande sein, dieses an sich tote Zahlenmaterial zu überblicken, wenn nicht Alex. v. Humboldt durch Einführung der „Isothermen", d. h. jener Linien, welche alle Punkte von gleicher Temperatur auf der Erdoberfläche miteinander verbinden, ein Mittel geschaffen hätte, mit einem Blick die Gesetzmäßigkeit in der scheinbaren Regellosigkeit zu erkennen.

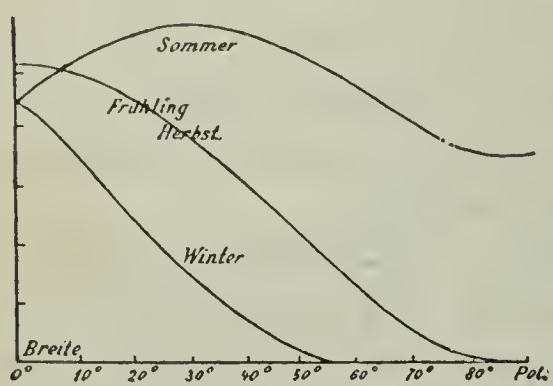


Fig. 19. Jährliche Strahlenmenge in den verschiedenen Breiten.

Dove, Hann, Buchan u. a. haben derartige Isothermenkarten sowohl für das Jahr, als für die einzelnen Monate entworfen.

Ein Blick auf dieselben (Fig. 17 u. 18, siehe Tafeln) lehrt uns die Temperaturabnahme vom Aequator zum Pol, die hohen

Temperaturen des Landes im Sommer, die niedrigen im Winter, die großen Temperaturgegensätze auf der nördlichen Hemisphäre in der kalten Jahreszeit und die weit gleichmäßigere Temperaturverteilung in allen Jahreszeiten auf der südlichen Wasserhemisphäre.

Nicht bloß die geographische Breite und die durch sie bedingte Menge der Sonnenstrahlung [1]), welche auf einen Parallelkreis entfällt, sondern auch die Land- und Meeresverteilung zeigt sich somit als ein wesentlicher Grund für die Verteilung der Wärme auf der Erde.

§ 20. Mitteltemperaturen der Parallelkreise.

Wo immer verschiedene Ursachen sich als wirksam erweisen, dort ist es ein Gebot der Wissenschaft, dieselben zu trennen, um so die Wirkung jeder einzelnen übersehen zu können.

So hat man denn auch bei dem Problem der Wärmeverteilung zunächst den Einfluß der geographischen Breite für sich darzustellen versucht. Schon Dove hat für die einzelnen Parallelkreise Mitteltemperaturen gebildet; zum gleichen Zweck ist das neuere Beobachtungsmaterial von Spitaler verwendet worden. Die von ihm ermittelten Temperaturen sollen von 15 zu 15 ° hier Platz finden.

Breite:	0 °	15 °	30 °	45 °	60 °	75 °
			Mitteltemperaturen in ° C.			
Nordhem.	25·9	26·3	20·3	9·6	— 0·8	— 13.3
Südhem.	25 9	24·2	18·5	8·9	0·2	(— 6·8)

Spitaler und Zenker haben auch den Versuch gemacht, aus diesen Werten die Temperaturverteilung auf einer reinen Land- und einer reinen Wasserhemisphäre zu berechnen. Spitaler

[1]) Deren Betrag für die einzelnen Breiten ist in Fig. 19 nach Angot graphisch dargestellt.

hat dies gethan, indem er mit Hilfe einer aus den Mitteltemperaturen gewonnenen empirischen Formel die Beziehung zwischen der Temperatur T, der Breite φ und dem Verhältnis n von Land und Meer auf dem betreffenden Parallelkreis darstellt.[1])

Fig. 20 giebt eine übersichtliche Darstellung der Temperaturverteilung auf einer Land- und einer Wasserhemisphäre; sie zeigt zugleich den Grund für die Verschiedenheiten zwischen der Nord- und der Südhemisphäre und die Ursache der Verschiebung des Wärmeäquators auf die nördliche Hemisphäre. In den niederen Breiten, wo die Einstrahlung der Sonne die Ausstrahlung überwiegt, wirkt eben das Land temperaturerhöhend, in den höheren Breiten, wo es sich umgekehrt verhält, erniedrigend. Das Land verschärft mit einem Wort die Extreme, aber ohne das Gesamtmittel zu verändern; und so zeigt sich denn auch, so weit unsere Beobachtung reicht, daß die Nord- und Südhemisphäre eine gleiche Mitteltemperatur von etwa 15 ° C besitzen.

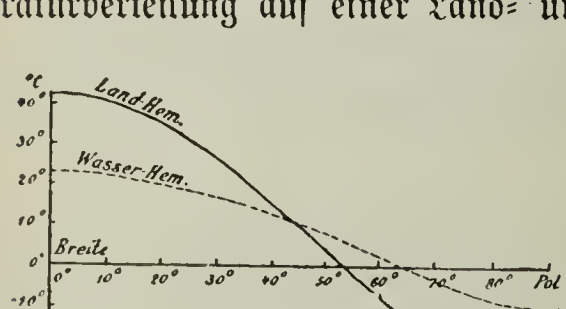


Fig. 20. Temperaturverteilung auf einer Land- und Wasser-Halbkugel.

§ 21. Isanomalen.

Nicht minder deutlich giebt sich der Einfluß der Land- und Meeresverteilung kund, wenn man, wie dies zuerst Dove gethan hat, die Abweichung der Temperatur jedes einzelnen Ortes von der Mitteltemperatur seines Parallelkreises ermittelt oder, wie dies neuerdings von Precht geschehen ist,

[1]) $T = -2{\cdot}43 + 17{\cdot}61 \cos\varphi + (7{\cdot}05 + 19{\cdot}29\,n) \cos 2\varphi$.

die Abweichung von jener Temperatur sucht, die der betreffende Parallelkreis bei gleichmäßiger Land- und Meerverteilung besitzen würde.[1]) Man hat die Punkte mit gleicher Abweichung („Anomalie") durch Linien, die Isanomalen, verbunden; auch diese Linien (Fig. 21, siehe Tafeln) lassen recht deutlich[2]) in höheren Breiten (etwa oberhalb 40° Breite) das Land als zu kalt, das Meer als zu warm erkennen. Sie zeigen aber auch die wichtige, uns jedoch erst später durch die allgemeine Windverteilung verständliche Erscheinung, daß hier die Westküsten der Kontinente zu warm, die Ostküsten zu kalt sind. Die niederen Breiten verhalten sich dagegen in jeder Hinsicht umgekehrt. Auch den Einfluß der Meeresströmungen, wie z. B. des warmen Golfstromes an der Westküste Skandinaviens, lassen sie leicht erkennen.

§ 22. Abnahme der Temperatur mit der Höhe.

Bezüglich der vertikalen Temperaturverteilung haben die Beobachtungen bis zu den Höhen, wohin unsere Bergstationen reichen, als regelmäßige Erscheinung eine Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe, und zwar um rund einen halben Grad pro 100 m ergeben. Diese Abnahme ist stärker am Nachmittag, geringer in der Nacht, am größten in den Monaten Mai oder Juni (etwa 0·65° C pro 100 m), am kleinsten im Dezember oder Januar (etwa 0·35° C). Besonders im Gebirge, wo sich die kalten, schwereren Luftmassen

[1]) Auch diese kann man ja aus der Spitalerschen Formel berechnen, indem man $n = 0{\cdot}2443$, d. i. das Verhältnis von Land und Meer für die gesamte Erde, setzt.

[2]) Wir verdanken es der Güte des Herrn Dr. W. Precht, daß wir die von ihm entworfene Isanomalenkarte in Fig. 21, Anhang, hier zum ersten Mal veröffentlichen können.

in Thälern und Kesseln ansammeln, also gerade die tiefsten Lagen im Winter abnorm niedrige Temperaturen aufweisen, stellt sich aber vielfach eine „Temperaturumkehr" ein, d. h. die Temperatur wächst, zu je höheren Lagen man emporsteigt. In den Salzburger Tauern tritt diese Umkehr so oft ein, daß im Dezember- und Januar-Mittel die Temperaturabnahme nur 0·15 ° pro 100 m beträgt.

Die Temperaturumkehr ist während kalter Winternächte in den untersten Atmosphärenschichten eine ganz regelmäßige Erscheinung. Umgekehrt aber zeigen im Hochsommer in den Nachmittagsstunden die dem erhitzten Erdboden unmittelbar benachbarten Schichten bis zu etwa 2 m Höhe oft eine außerordentlich rasche Temperaturabnahme.

Auch in den Tropen hat man eine Abnahme der Temperatur um etwa ½ ° C pro 100 m gefunden, sodaß sich die Nullgradisotherme in etwa 5100 m Höhe befindet. Fig. 22 giebt eine übersichtliche Darstellung des Ansteigens der einzelnen Isothermen vom Pol zum Aequator.

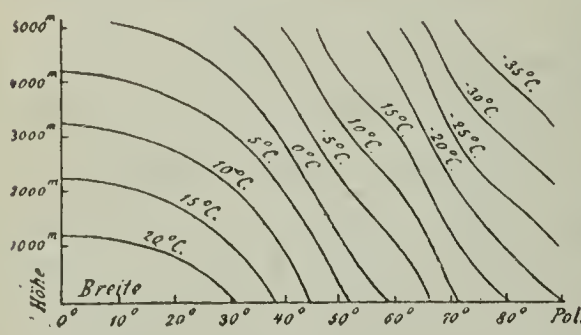


Fig. 22. Isothermen in einem Querschnitt durch die Atmosphäre.

Doch nicht bloß im Gebirge hat man diese Temperaturabnahme gefunden: auch in der freien Atmosphäre ist die vertikale Temperaturverteilung eine nicht wesentlich andere. Nur ergaben die Beobachtungen im Ballon, daß hier mit wachsender Höhe die Temperatur immer langsamer abnimmt. Nach Glaishers Fahrten war im Sommer und am Tage die Temperaturabnahme in ° C. pro 100 m in den einzelnen Höhenschichten die folgende:

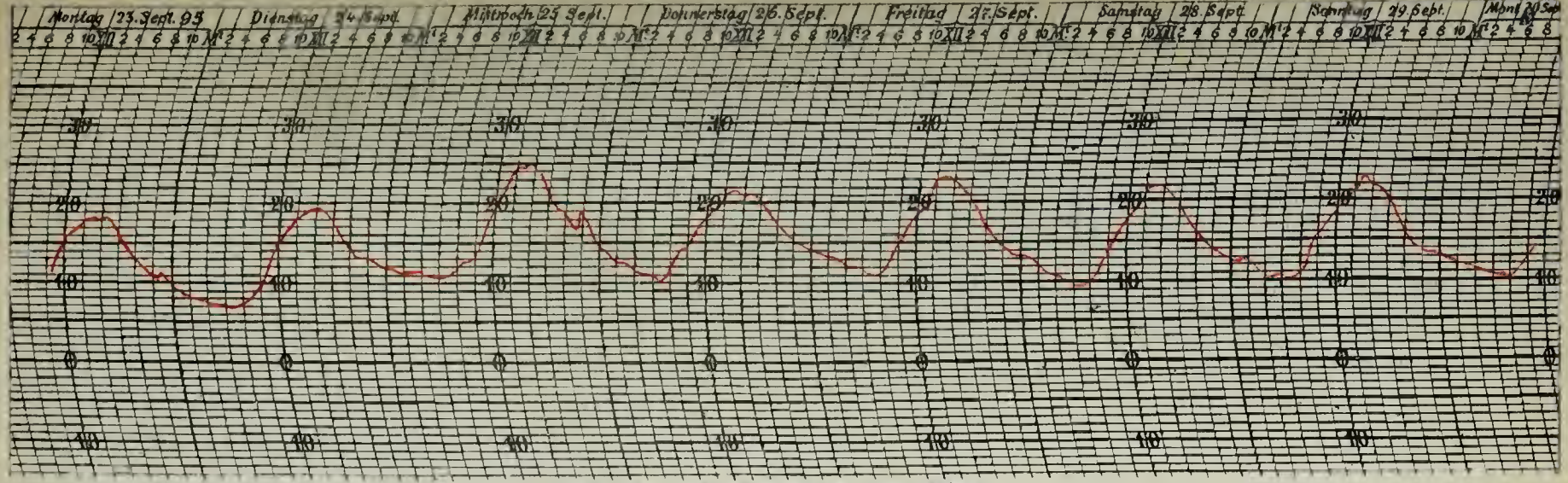


Fig. 12. Thermogramm von Wien.

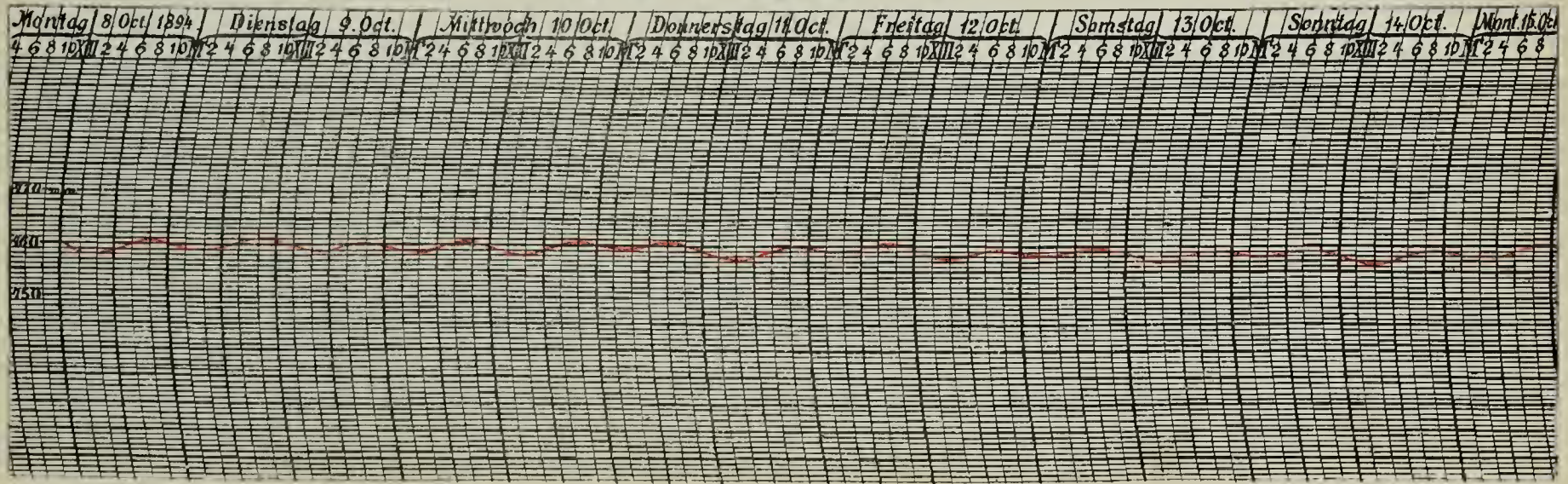


Fig. 25. Barogramm von Jaluit. (Marshall-Inseln.)

Schichte: 0—6, 6—12, 12—18, 18—29 Tausend engl. Fuß
Temp.-Abn. 0.74 0.45 0.36 0.19 °C. pro 100 m.

Mit Spannung sieht man den Ergebnissen der neueren Berliner Fahrten entgegen. Da Glaishers Temperaturen in den höheren Schichten zweifellos zu hohe waren — ihm stand ja noch kein Aspirationspsychrometer zu Gebote — so ist zu erwarten, daß in Wahrheit sich die Temperaturabnahme nicht so rasch verlangsamt. Die Fahrt des Registrierballons „Cirrus", welcher am 7. Juli 1894 von Berlin aufstieg und nach zehnstündiger Fahrt in Bosnien landete, hat übrigens diese langsame Temperaturabnahme der obersten Schichten bestätigt. Von 12000 m an nahm die Temperatur bis zur Höhe von 16300 m (der höchsten bisher erreichten) um nur 0.21 ° pro 100 m ab; die tiefste Temperatur, welche oben erreicht wurde, war 52 ° C unter Null.

Die Erklärung dieser Temperaturabnahme mit der Höhe hat früher den Meteorologen große Schwierigkeiten bereitet; heute, wo wir wissen, wie gering die Wärme ist, welche der Luft durch direkte Absorption der Sonnenstrahlen zugeführt wird, wo wir nachweisen können, daß für die Atmosphäre als erste Wärmequelle die durch die Sonnenstrahlen erwärmte Erdoberfläche in Betracht kommt, erscheint uns diese Beobachtung ganz selbstverständlich: je weiter wir uns von der Wärmequelle entfernen, um so tiefer wird die Temperatur sinken. Hiermit stimmt die Beobachtung überein, daß auch die Temperatur des Landes wie des Oceans im Durchschnitt um etwa 1 ° C wärmer ist, als die unterste Luftschichte. Im Sommer, besonders nachmittags, steigt über dem Lande dieser Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft oft zu sehr beträchtlichen Werten, selbst in unseren Gegenden bis zu 15 ° und mehr an. Wir wissen aber auch, daß nicht die Leitung die

Wärme vom Erdboden in die oberen Luftschichten emporführt (die Luft ist dazu ein viel zu schlechter Wärmeleiter), sondern daß das Aufsteigen der warmen, das Herabsinken der kalten Luft diesen Wärmeaustausch vermittelt. Auch die Rolle, welche hiebei der Wasserdampf spielt, haben wir schon (vergl. S. 19) kennen gelernt. Wo immer feuchte, gesättigte Luft aufsteigt, da tritt Kondensation ein, und die Wärme, welche der Wasserdampf bei seiner Verdampfung an der Erdoberfläche verbraucht hat, wird hierbei wieder frei und so an die oberen Luftschichten abgetreten. Außer bei der Konvektion, die wir schon kennen gelernt haben, findet im Großen ein solches Aufsteigen feuchter Luft in den Cyklonen, ein Absteigen trockener Luft in den Anticyklonen statt. Hierauf kommen wir noch zu sprechen.

Der Luftdruck.

§ 23. Das Barometer.

Schon im Jahre 1644 wußte Toricelli die Tragweite des in § 2 besprochenen Versuchs wohl zu würdigen. Er erkannte, daß er in seiner Röhre ein Mittel entdeckt hatte, um „die Veränderungen der Luft, welche bald schwerer und dicker, bald leichter und dünner sei, zu messen."

In der That unterscheiden sich ja auch unsere gewöhnlichen Stationsbarometer (Fig 23a) im Wesentlichen gar nicht von dem Apparate Toricellis. Nur ist zum Zweck bequemeren Ablesens schon das als Schutz der Glasröhre dienende Messingrohr mit einer meist in Millimeter geteilten Skala versehen. Wenn nun auch bei einem bestimmten Luftdruck der Nullpunkt der Skala mit dem Niveau des unteren, weiteren Gefäßes übereinstimmt, so muß doch, sobald der

Luftdruck zunimmt und das Quecksilber im Barometerrohre steigt, das Niveau des Quecksilbers im weiteren Gefäße sinken und stimmt also nicht mehr mit dem Nullpunkt der Skala überein. Es ist bei solchen Instrumenten also nötig, wegen der Niveauänderung im weiteren Gefäße eine Korrektion anzubringen. Um nun dieser Unbequemlichkeit auszuweichen, hat Fortin Barometer konstruiert, bei welchen durch einen bewegbaren Lederboden das Quecksilber gehoben und gesenkt und auf eine Elfenbeinspitze, den Nullpunkt der Skala, eingestellt werden kann. (Fig. 23b). In anderer Weise geht man beim Heberbarometer (Fig. 23c), einer einfachen u-förmig gebogenen Glasröhre, dieser Schwierigkeit aus dem Wege, indem man durch zwei Ablesungen den Stand in der längeren und der kürzeren Röhre ermittelt, und durch die Differenz wieder die Höhe der Quecksilbersäule erhält, welche der Luftdruck zu tragen vermag.

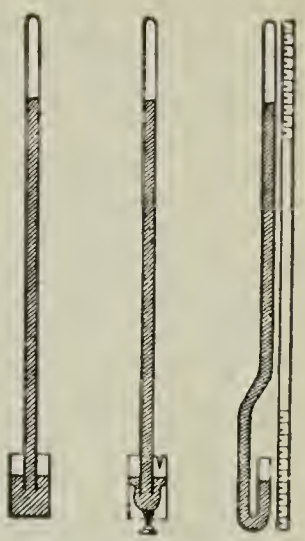


Fig. 23a, 23b, 23c. Barometer.

Da aber die Länge der Quecksilbersäule auch von der Temperatur abhängig ist, andererseits auch wegen der Verschiedenheit der Schwerkraft auf den verschiedenen Parallelkreisen das Gewicht des Quecksilbers nicht überall dasselbe ist, so ist, um genaue Daten zu erhalten, noch nötig, die „Temperaturkorrektion" auf 0° C und die „Schwerekorrektion" auf den 45. Breitenkreis anzubringen.[1])

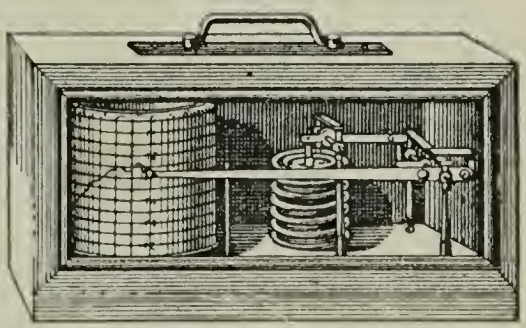


Fig. 24. Barograph

[1]) Tabellen, in denen diese Größen angegeben sind, finden sich z. B. in Jelineks Anleitung.

Selbstverständlich kann man nicht bloß die Schwere, sondern auch andere Kräfte, z. B. die Elastizität einer luftleer gepumpten Blechdose, welche durch den Luftdruck mehr oder weniger zusammengepreßt wird, zu seiner Messung verwenden. In den Aneroid-Barometern[1]) und den vielverbreiteten Richard-schen selbstregistrierenden Barometern ist dieses Prinzip zur Anwendung gebracht. Durch die Veränderungen der Dose wird ein Zeiger oder ein Schreibstift bewegt, an welchem ein Papierstreifen in bestimmter Zeit vorüberbewegt wird. (Fig. 24). An Genauigkeit stehen übrigens diese Instrumente hinter dem Quecksilberbarometer zurück.

Ebenso hat man die Eigenschaft des Wassers, unter niedrigem Drucke schon bei tieferen Temperaturen zu sieden, benützt, um aus der Siedetemperatur, welche man mit wohlgeprüften Thermometern sehr genau bestimmen kann, den Luftdruck zu messen. In der That sind denn auch solche Siedethermometer ziemlich verläßliche Barometer.

§ 24. Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe.

Die wichtigste, zuerst von Pascal erkannte Eigenschaft des Luftdrucks, welche auch bei der barometrischen Höhenmessung von großer praktischer Bedeutung ist, ist dessen Abnahme mit wachsender Höhe. Da die Dichte der Luft in bekannter Weise von Temperatur und Druck abhängt, so ist es nicht schwer, das Gewicht einer bestimmten Luftsäule zu ermitteln, und man ist dabei zu der Formel gelangt:

$$h = 18400 \left(1{\cdot}00157 + 0{\cdot}003667 \frac{T+t}{2}\right) \log \frac{B}{b}$$

welche genähert die Beziehung zwischen Höhe h, den Tempe-

[1]) Die besten Aneroide sind jene von Naudet in Paris.

raturen (T unten und t oben) und den Barometerständen B (unten) und b (oben) darstellt.

In der folgenden Tabelle ist unter Annahme einer Temperaturabnahme von 0·5 ° C pro 100 m der Barometerstand einzelner Höhen für verschiedene Temperaturen berechnet worden.

Luftdruck in verschiedenen Höhen.

Temp. im Meeresniveau —	15° C	0° C	15° C	30° C
Höhe:		Millimeter:		
10 000 m	176	193	209	224
5000	380	395	410	424
4000	439	453	466	479
3000	505	517	528	539
2000	581	590	598	606
1000	665	670	675	679
500	711	713	715	718
Meeresn.	760	760	760	760

Da eine warme Luftsäule leichter ist, so muß hier die Differenz zwischen unten und oben geringer sein. Ist somit innerhalb zweier verschieden warmer Luftsäulen der Luftdruck unten derselbe, so wird in der wärmeren Säule der Druck oben allein wegen der höheren Temperatur viel größer sein. Die obige Tabelle läßt diese Erscheinung deutlich erkennen.

Bei überall gleicher Temperatur herrscht in einer zur Erdoberfläche parallelen Ebene natürlich gleicher Druck, bei ungleicher Temperatur steigen die Flächen, in welchen der Druck derselbe ist, die „Flächen gleichen Druckes" gegen das wärmere Gebiet hin an.

In einer Höhe von 64 km beträgt der Druck nur noch etwa 0·05 mm; die Luft ist hier so dünn, daß sie die Strahlen nicht mehr zu brechen vermag. Diese Höhe kann

man praktisch als die Grenze der Atmosphäre betrachten. Nach dem Aufleuchten der Sternschnuppen, nach der Höhe des Nordlichts und anderen Erscheinungen zu schließen, muß aber eine Ausdehnung der Atmosphäre noch bis mindestens 320 km Höhe angenommen werden.

§ 25. Luftdruckverteilung.

Auch am Meeresniveau herrscht keineswegs immer und überall der normale Luftdruck von 760 mm. Nach den Isobarenkarten, Karten, welche die Linien gleichen Barometerstandes darstellen, werden die Hauptunterschiede durch die Land- und Meeresverteilung bedingt. (Vergl. Fig. 30 und 31, Anhang). Im Sommer hat das Land niedrigen, das Meer hohen Luftdruck, im Winter ist das Verhältnis umgekehrt; denn die Luft dehnt sich über erwärmten Gebieten aus und fließt zum Teil nach den Seiten ab. Abgesehen von diesen Unterschieden lassen die mittleren Luftdrucke der einzelnen Parallelkreise an der Erdoberfläche deutlich einen Gürtel niedrigen Luftdrucks am Aequator erkennen und in etwa 35 ° Breite sowohl auf der Nord- als auf der Südhemisphäre einen Gürtel hohen Druckes. Von hier aus nimmt der Druck bis etwa zum 60. Breitenkreis ab, von da bis zum Pol wahrscheinlich wieder zu.

Uebrigens sind im Niveau des Meeres, wie die folgende Tabelle lehrt, diese Unterschiede keineswegs groß; in den höheren Luftschichten werden wir dagegen nach den Gesetzen des mit wachsender Höhe abnehmenden Luftdrucks, wegen des großen Temperaturgegensatzes zwischen Aequator und Pol, in den niederen Breiten hohen, in den höheren in demselben Niveau weit niedrigeren Luftdruck zu erwarten haben. Die Beobachtungen bestätigten diesen Schluß auf das Vorhandensein

eines beträchtlichen Druckgefälles in den oberen Luftschichten vom Wärmeäquator bis zum Pol. Die folgende Tabelle giebt eine übersichtliche Darstellung davon.

Luftdruckverteilung auf der Nordhemisphäre.

Breite:	0°	15°	30°	45°	60°
In 5000 m:	420·1	420·8	416·0	405·5	392·6 mm
In 2500 m:	568·1	568·8	567·9	560·1	550·6 mm
Im Meeresniv.:	758·0	758 7	762·6	761·9	759·2 mm

§ 26. Täglicher und jährlicher Gang des Luftdrucks.

Während bei uns die Schwankungen des Luftdrucks von Tag zu Tag außerordentlich beträchtlich sind, zeigt in den Tropen das Barometer einen ganz überraschend regelmäßigen Gang. Auf dem in Fig. 25 (siehe Tafeln) reproduzierten, aus einer längerern Reihe willkürlich herausgegriffenen Barogramm von Jaluit sehen wir diese regelmäßige, Tag für Tag sich wiederholende doppelte Welle mit dem tieferen Minimum um etwa 3^h nachm., dem weniger tiefen um 3^h nachts, und den beiden Maximis um etwa 9^h abends und 9^h früh. Wir haben es mit einer doppelten Welle zu thun, die aber — das zeigt uns die ungleiche Größe der beiden Minima — noch von einer einfachen Welle (mit einem Maximum und einem Minimum im Tage) überlagert ist. Es läßt sich diese Welle durch die Formel darstellen:

$$a_1 \sin (A_1 + x) + a_2 \sin (A_2 + 2x)$$

wobei a_1 die Amplitude der einfachen, a_2 jene der doppelten Welle ist,[1]) A_1 und A_2 gewisse von der Lage der Maxima abhängige Winkelkonstanten sind, und x für Mitternacht 0,

[1]) Hiernach ist also 2a d. i. die doppelte Amplitude die Differenz zwischen Maximum und Minimum. Man bezeichnet aber auch vielfach (vergl. S. 47) diese Differenz schlechtweg als Amplitude.

für 1^h nachts 15°, für 2^h . . 30°, für 3^h . . 45° u. s. w. zu setzen ist.

Hann hat gezeigt, daß auf der ganzen Erde der Gang des Luftdrucks sich aus zwei derartigen Wellen zusammensetze, und daß insbesondere die doppelte, meist auch größere Welle überall eine merkwürdige Gesetzmäßigkeit aufweise. Ihre Amplitude[1]) nimmt regelmäßig mit der Breite und (proportional dem Luftdruck) mit der Seehöhe ab; die Eintrittszeit der Maxima fällt aber fast überall auf etwa 9^h 40 vormittags und abends.

Weit weniger regelmäßig verhält sich die einfache Welle; doch ist es Hann gelungen, nachzuweisen, daß sich alle Unterschiede durch den Einfluß des täglichen Temperaturganges erklären lassen. Auf hohen Bergen ist der tägliche Gang des Luftdrucks wesentlich entstellt; das Nachtminimum zeigt sich bedeutend vertieft,[2]) während von dem Nachmittags-Minimum fast nichts mehr zu sehen und an seine Stelle das beträchtlich verspätete Vormittags-Maximum getreten ist. Nur die Erwärmung der Luft und die dadurch bewirkte Drucksteigerung[3]) ist die Ursache dieser Erscheinung; und die Differenz des Luftdruckganges Sonnblick-München zeigt denn auch ganz den Charakter einer Temperaturkurve. Wir verstehen jetzt, wie es Hann möglich war, aus der Diffe-

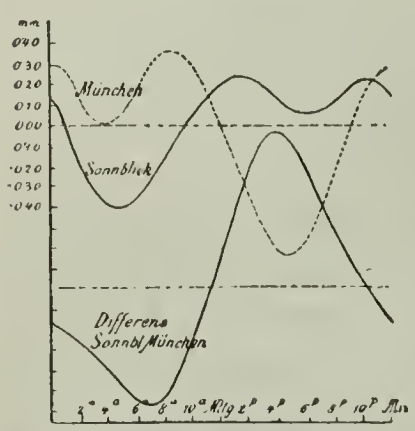


Fig. 26. Täglicher Gang des Luftdrucks.

[1]) Am Aequator beträgt die Schwankung (doppelte Amplitude) etwa 2 mm.

[2]) Vergl. die Gegenüberstellung des Ganges von München und Sonnblick Fig. 26.

[3]) Nach der Tabelle auf S. 61 bewirkt ja eine Temperatursteigerung um 1° C in 3000 m Höhe schon eine Drucksteigerung von fast 1 mm.

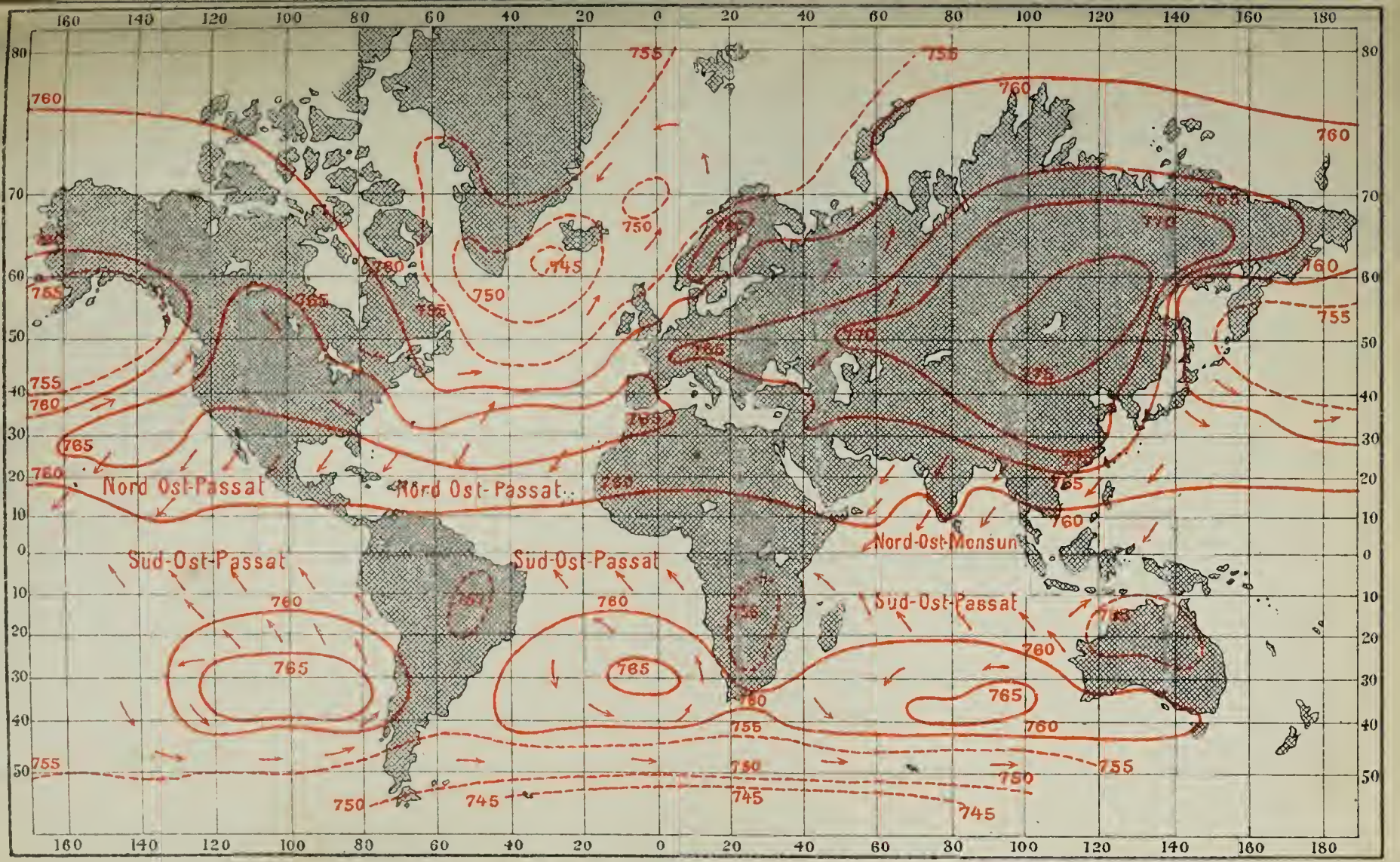


Fig. 30. **Isobaren und Winde im Januar.** —— Hoher Luftdruck. - - - - - Tiefer Luftdruck.
Die Pfeile geben die herrschende Windrichtung an.

renz des Luftdrucks oben und unten (vgl. S. 48) den Gang der Temperatur der zwischenliegenden Luftschichte zu berechnen.

Sehen wir von diesen durch die Temperaturdifferenzen hervorgerufenen Unterschieden ab, so ist das eigentlich Charakteristische des Luftdruckganges eine regelmäßige doppelte tägliche Welle! Woher kommt sie? Die hervorragendsten Physiker und Meteorologen haben sich vergebens um eine Erklärung derselben bemüht, aber in jüngster Zeit ist, wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, doch ein Anhaltspunkt zur Erklärung derselben gewonnen worden.

Von einem jährlichen Gang des Luftdrucks ist in unseren Gegenden wenig zu merken. Auf Bergen dagegen haben wir, auch wieder wegen der Temperaturunterschiede, hohen Druck im Sommer, geringen im Winter. Aber auch manche Orte an der Erdoberfläche, besonders im Innern der Kontinente, z. B. Sibirien, weisen, wie ein Blick auf die Isobarenkarten lehrt (Fig. 30 und 31), große Druckunterschiede zwischen Sommer und Winter auf.

§ 27. Schwingungen der Atmosphäre.

Wo immer in einer abgeschlossenen Luftmenge auf irgend eine Weise eine Druck- oder Dichteänderung hervorgebracht wird, gleicht sich diese Gleichgewichtsstörung nicht sofort wieder aus, sondern es treten, je nach der Reibung, mehr oder weniger schnell erlöschende Schwingungen ein, aber stets nur Schwingungen gewisser Art, die durch die Gestalt des Luftquantums bestimmt sind. Die Orgelpfeifen bieten uns diesbezüglich ein anschauliches Beispiel; durch ihre Länge sind die möglichen Schwingungen (Töne) vollständig bestimmt. Auch die Atmosphäre ist eine abgegrenzte Luftmasse in Form einer

Kugelschale; wird nicht auch sie auf gewisse Schwingungen „abgestimmt" sein?

Lord Rayleigh hat diese Frage aufgeworfen, und Margules hat sie mit Berücksichtung der Erdrotation und Reibung gelöst. In der That stellte sich denn heraus, daß auch in unserer Atmosphäre nur gewisse Schwingungen, (d. i. wellenförmige Bewegungen) möglich sind. Es würde uns zuweit führen, diese *möglichen* Wellen einzeln zu besprechen, und für unsere Zwecke genügt es auch, einige wenige herauszugreifen; so sind z. B. Wellen mit *einem* Dichte-Maximum und *einem* Minimum, welche in westlicher Richtung längs der Parallelkreise die Erde umkreisen, möglich, aber unter ihnen nur solche von ganz bestimmter Schwingungsdauer. Margules hat die Schwingungsdauer dieser möglichen Wellen zu 13·87, 9·22, 6·63 ... Stunden berechnet.[1]) Aber auch doppelte Wellen (2 Maxima und Minima) sind möglich und wieder unter ihnen nur bestimmte Schwingungsdauern, wie 11·94 u. s. w. (alle folgenden kleiner).

Was bedeutet das nun? Zunächst haben wir es allerdings mit einer zwar interessanten, aber nur theoretischen Untersuchung zu thun, obwohl es denkbar wäre, daß durch einen besonders heftigen Vulkanausbruch auch thatsächlich solche Schwingungen der Atmosphäre angeregt würden. Im Hinblick auf die tägliche Luftschwankung aber hat diese Untersuchung auch ein großes praktisches Interesse.

Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Ursache des täglichen Barometerganges in der täglichen Temperaturschwankung zu suchen ist. Diese letztere können wir ja als eine Wärmewelle auffassen, die mit der Sonne um die Erde wandert. Die Rechnung lehrt nun in der That, daß, wenn eine Tem-

[1]) Alle folgenden haben kleinere Schwingungsdauern.

peraturwelle die Erde umkreist, durch dieselbe auch eine Druckwelle von gleicher Gestalt und Schwingungsdauer erzeugt wird, eine Welle, die wir — im Gegensatz zu den früheren „freien" — als „erzwungene" Schwingung bezeichnen wollen. Eine einfache Temperaturwelle erzeugt eine einfache Druckwelle, eine doppelte wieder eine doppelte u. s. w.

Wir wissen, daß die tägliche Temperaturschwankung der Hauptsache nach eine *einfache* Welle ist, betrachten wir sie aber näher, so erkennen wir, daß sie keineswegs eine *reine* einfache Sinus-Welle ist, sondern daß auch sie sich mathematisch als Uebereinanderlagerung verschiedener Wellen

$$a_1 \sin (A_1 + x) + a_2 \sin (A_2 + 2x) + \ldots .$$

darstellen läßt, nur überwiegt a_1 die Amplitude der einfachen Welle beträchtlich.

Jede dieser Temperaturwellen wird nun eine entsprechende Druckwelle erzeugen, wir werden also eine solche von 24 Stunden und eine solche von 12 Stunden zu erwarten haben.

Wie kommt es nun, daß, obwohl bei der Temperatur die einfache Welle überwiegt, doch beim Luftdruck die doppelte Welle die Haupterscheinung ist?

Für die Beantwortung dieser Frage ist nun die obige Untersuchung sehr lehrreich. Es geht nämlich aus der Rechnung hervor, daß die Amplitude einer erzwungenen Druckwelle um so größer wird, je näher ihre Schwingungsdauer der Schwingungsdauer einer möglichen freien Welle liegt.

Bei der erzwungenen einfachen Druckwelle ist nun die Schwingungsdauer 24 Stunden, diese liegt weit weg von 13·87, der größten Schwingungsdauer der möglichen einfachen Wellen; die Schwingungsdauer von 12 Stunden bei der erzwungenen doppelten Welle liegt aber zufällig sehr nahe jener der freien Wellen 11·94; es wird also die kleine doppelte Temperatur-

welle zu einer verhältnismäßig viel größeren doppelten Druckwelle Veranlassung geben, als dies bei der einfachen Temperatur- und Druckwelle der Fall ist. Hierin liegt nach Margules die Erklärung der doppelten täglichen Luftdruckschwankung.

Bewegungserscheinungen der Atmosphäre.

§ 28. Windmessung.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit charakterisieren die Bewegung der Luft. Die Windrichtung ermitteln wir mittels der Windfahne. Wir beschränken uns dabei meist auf die Feststellung von 8 verschiedenen Windrichtungen: Nord, Nord-Ost, Ost, Süd-Ost, Süd, Süd-West u. s. w.; bei genaueren Angaben pflegt man aber noch Zwischenrichtungen: Nord-Nord-Ost, Ost-Süd-Ost u. s. w. einzuschalten. Fig. 27 giebt eine übersichtliche Darstellung der Windrichtungen und ihre Bezeichnung durch die Anfangsbuchstaben der Windrichtung. Nur für den Ostwind hat man nach internationaler Vereinbarung den Buchstaben E (East englisch) gewählt, um Verwechslungen mit dem französischen „Ouest“ zu vermeiden.

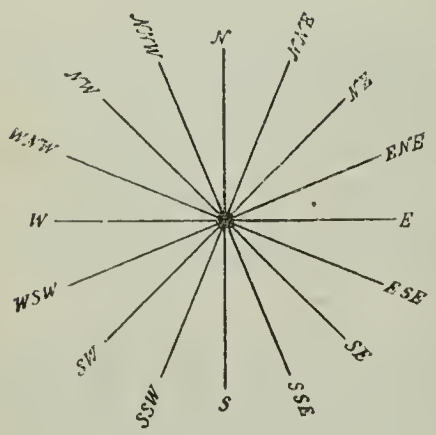


Fig. 27. Windrose.

Zur Messung der Windstärke oder Windgeschwindigkeit ist man auf Schätzungen, gewöhnlich nach einer willkürlichen zehnteiligen oder auch zwölfteiligen Skala, angewiesen.

„Anemometer“ (Windmesser), welche die Windgeschwindigkeit unmittelbar in Metern pro Sekunde oder in Kilometern pro Stunde angeben, indem die Zahl der Rotationen und damit die Geschwindigkeit eines Schalenkreuzes (Fig. 28) in zweckmäßiger Weise durch einen Schreibapparat registriert wird, sind so kostspielig, daß sie nur auf wenigen Hauptstationen zur Verwendung gelangen. Man hat übrigens gefunden, daß man die Windgeschwindigkeit auch nach Schätzungen recht gut beurteilen kann. Nach Hann entsprechen einander die folgenden geschätzten Windstärken und -geschwindigkeiten in Metern pro Sekunde:

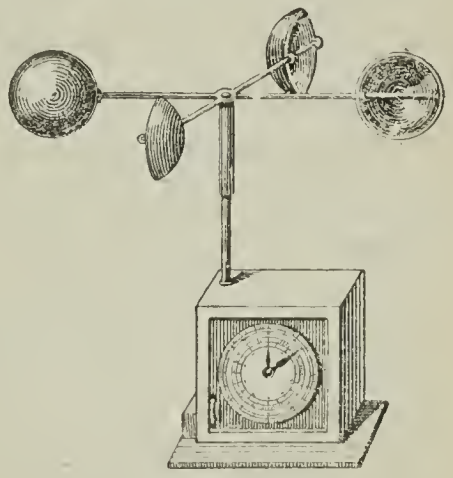


Fig. 28. Anemometer.

	Wind					Sturm				Orkan
Stärke:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geschwind.	1·5	3·7	6·2	8·8	11·8	15·0	18·8	24·0	32·8	50 0

§ 29. Bewegende Kräfte.

Wie jeder Körper, so würde auch die Luft nach dem Gesetz des Beharrungsvermögens die Bewegung, welche sie einmal besitzt, beibehalten, wenn nicht die Reibung der Luftteilchen untereinander und an der Erdoberfläche die Bewegung bald zum Stillstand brächte. Wo wir also andauernd eine gewisse Luftbewegung beobachten, müssen bewegende Kräfte vorhanden sein, welche die Reibung zu überwinden vermögen.

Die wichtigste treibende Kraft bei der Bewegung der Luft ist der Druckunterschied oder „Gradient“. Wo hoher Luftdruck herrscht, wo ein Luftüberschuß vorhanden ist,

von dort her strömt die Luft weg zu Gebieten von niedrigerem Luftdruck. Je größer der Druckunterschied längs einer bestimmten Strecke ist, umso größer ist die bewegende Kraft, das Bestreben diese Unterschiede wieder auszugleichen. Man mißt diese Kraft, das „Druckgefälle" oder den „Gradienten", in mm Luftdruckdifferenz pro Aequatorgrad (= 111 km) und hat gefunden, daß einem Gradienten von 1 mm etwa eine Windgeschwindigkeit von 3—5 m pro Sekunde entspricht.

Der Druckunterschied ist aber keineswegs die einzige wirkende Kraft. Eine gleichfalls höchst wichtige Kraft, die lediglich deshalb eintritt, weil die Bewegungen der Luft auf einer Kugeloberfläche und zwar einer rotierenden Kugel vor sich gehen, ist die „ablenkende Kraft der Erdrotation". Diese bewirkt, daß jeder bewegte Körper auf der Erdoberfläche, also auch jede Luftbewegung auf der Nordhemisphäre nach rechts, auf der Südhemisphäre nach links, und zwar umso stärker abgelenkt wird je näher man dem Pole rückt. Ihr ist es somit zuzuschreiben, daß die Bewegung der Luft stets schief (Fig. 29) gegen die Richtung des Druckgefälls vor sich geht. Daher wird jeder Nordwind gegen Westen, jeder Ost gegen Norden, jeder Süd gegen Osten u. s. w. abgelenkt. Aber nicht bloß die horizontalen Luftbewegungen, auch die vertikalen sind dieser ablenkenden Kraft unterworfen: jeder aufsteigende Luftstrom wird eine Ablenkung nach Westen, jeder absteigende eine solche nach Osten erfahren.

Fig. 29.

§ 30. Allgemeine Cirkulation der Atmosphäre.

Aus dieser Erörterung der treibenden Kräfte ergiebt sich, daß auch die Verteilung der Winde im Wesentlichen durch

die Verteilung des Luftdrucks (vergl. die Isobarenkarten Fig. 30 und 31 s. Tafeln) bestimmt ist. Wo nicht durch den Einfluß des Landes die regelmäßige Druckverteilung gestört ist, wird von dem bereits besprochenen Gürtel hohen Druckes in der Gegend des 35. Breitekreises nach beiden Seiten hin die Luft abströmen. Wegen der ablenkenden Kraft der Erdrotation wird aber diese Strömung auf der Nordhemisphäre in den niederen Breiten als NE-Wind (der „NE-Passat"), in den höheren Breiten als SW-Wind und analog auf der Südhemisphäre in den niederen Breiten als „SE-Passat", in den höheren als NW-Wind erscheinen.

Am Aequator selbst herrscht verhältnismäßige Windstille. Ueber dem wenige Grade breiten Gürtel der dortigen „Calmenzone" hat die Luft allein eine aufsteigende Bewegung; nur in den höheren Schichten geht dieselbe wegen der ablenkenden Kraft in einen Ostwind über. Dagegen treffen wir auf beiden Seiten des Aequators in den höheren Schichten durchweg ein Gefälle vom Aequator zum Pol (vergl. S. 63), also vermöge der Ablenkungskraft der Erdrotation auf der Nordhemisphäre SW-, auf der Südhemisphäre NW-liche Winde.

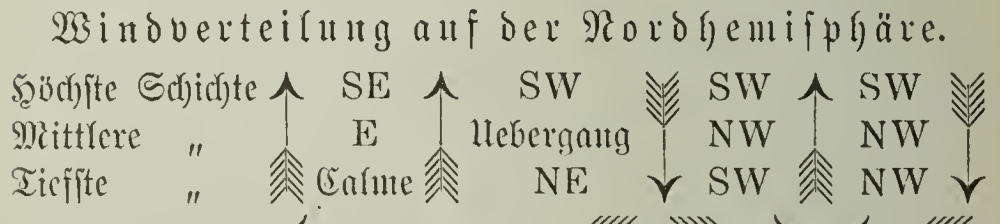
Da aber mit wachsender Breite die Parallelkreise immer kleiner werden, so wird schon in mittleren Breiten (etwa 35 °Br.) die polwärts gerichtete Oberströmung wegen der eintretenden Stauung sich senken und zur Entstehung jener Gürtel hohen Druckes Veranlassung geben, die sich auf beiden Hemisphären in den mittleren Breiten um die Erde schlingen.

Was die Windverhältnisse der Breiten oberhalb des 60. Parallelkreises betrifft, so können wir mit weit geringerer Sicherheit darüber Auskunft geben; doch hat es den Anschein, daß jenseits des 60. Parallels der Luftdruck gegen den Pol wieder zunimmt. Ueber dem 60. Breitenkreise würden wir

somit wieder eine aufsteigende Bewegung annehmen müssen, und die vom Pol kommenden Winde würden sich dann in einer Schichte mittlerer Höhe vermöge des Beharrungsvermögens auch noch bis in niedrigere Breiten fortsetzen.

Für die Nordhemisphäre erhielten wir hiernach ein Bild der atmosphärischen Cirkulation, wie es das folgende Schema übersichtlich darstellt.

Windverteilung auf der Nordhemisphäre.



Haben wir nun auch die Druckdifferenzen und die ablenkende Kraft der Erdrotation, als die unmittelbaren Ursachen dieser Windverteilung erkannt, so muß doch als die eigentliche treibende Kraft für die unsere ganze Atmosphäre umfassende Cirkulation, wie sich diese im Mittel, abgesehen von örtlichen und zeitlichen Störungen, ergiebt, der Temperaturgegensatz zwischen Pol und Aequator angesehen werden. Durch diesen wird ja in den höheren Schichten die Hebung der Flächen gleichen Druckes am Aequator (s. S. 61) und damit jenes Luftdruck-Gefälle vom Aequator zum Pol bedingt, welches die Luft oben vom Aequator weg gegen die höheren Breiten führt und dadurch ein Nachströmen teils am Aequator von unten nach oben, teils an der Erdoberfläche aus den höheren Breiten gegen den Aequator verursacht.

Hadley war der erste, der den Passat aus dem Temperaturgegensatz zwischen den höheren und niederen Breiten in Verbindung mit der ablenkenden Kraft der Erdrotation er-

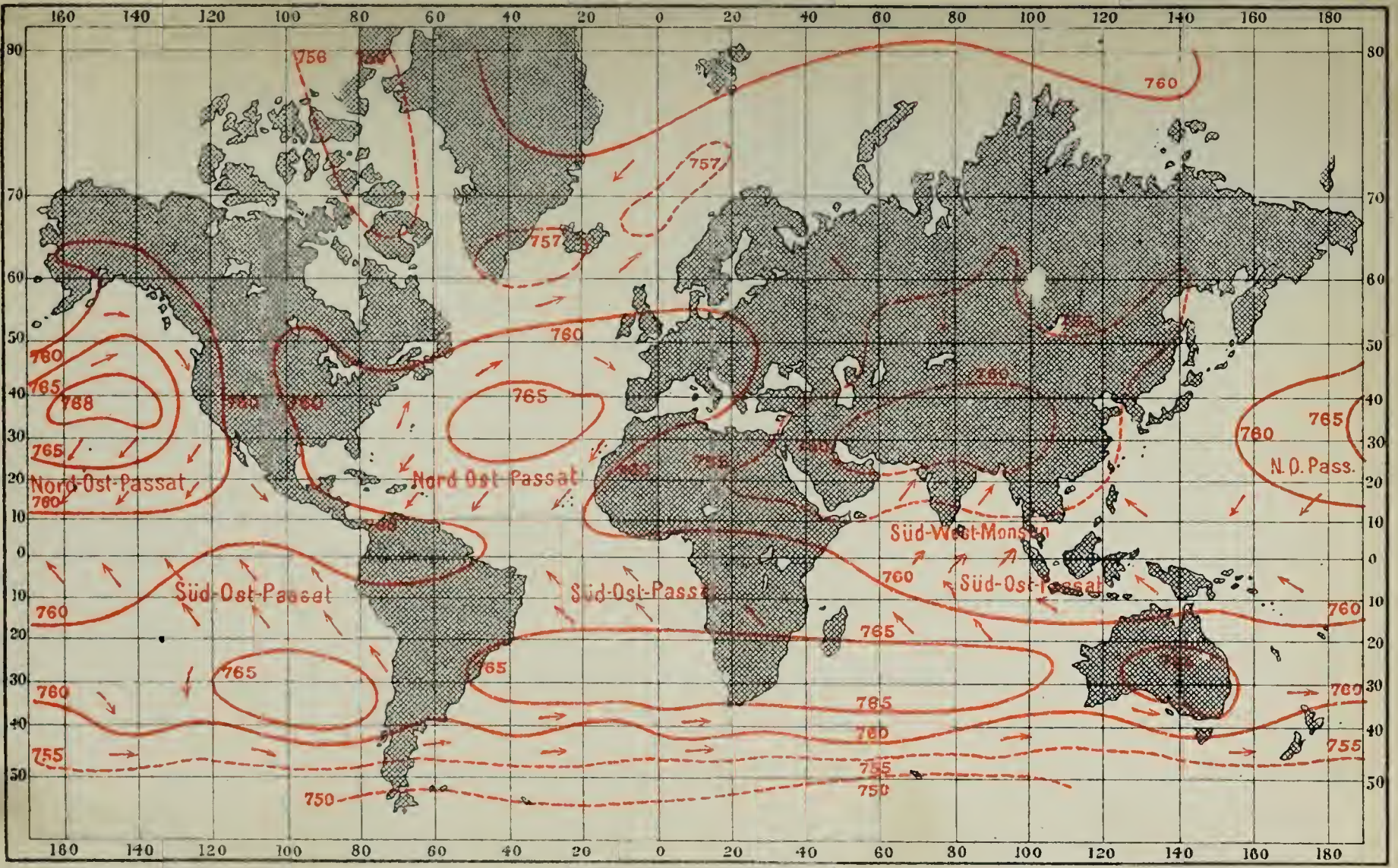


Fig. 31. **Isobaren und Winde im Juli.** ——— Hoher Luftdruck. - - - - - Tiefer Luftdruck.
Die Pfeile geben die herrschende Windrichtung an.

klärte. Dove dehnte diese Erklärung auf die allgemeine Cirkulation aus.

In Europa hat aber zuerst Hann die richtige Auffassung vertreten, wonach die Hebung der Flächen gleichen Drucks in Folge des Temperaturgegensatzes als unmittelbare Ursache der Cirkulation anzusehen ist. Schon früher hat Ferrel in Amerika die richtige Erklärung gegeben. Er und später Oberbeck haben auch eine strenge Theorie der allgemeinen Luftcirkulation entwickelt. Mannigfache Beiträge dazu haben Möller, Perner, Siemens und Sprung geliefert.

§ 31. Periodische Aenderungen der Windrichtung und Stärke.

Wie die Luftdruckverteilung örtlich und jahreszeitlich sehr beträchtlich von der mittleren Druckverteilung abweicht, so werden auch örtlich beträchtliche Abweichungen von der allgemeinen Cirkulation mit vielfach periodischem Charakter eintreten. Der hohe Druck auf dem Lande im Winter, der tiefe im Sommer bedingt ein regelmäßiges Wechselspiel zwischen Land- und Seewind, ein Spiel, das wir in besonders entwickelter Form am asiatischen Kontinent beobachten können, und zwar am deutlichsten im indischen Ozean bei den „Monsunen", dem SW-Monsun im Sommer, dem NE-Monsun im Winter. Auch hier tritt in Folge der Erdrotation eine Ablenkung der Winde nach rechts ein.

Wird sich aber nicht dieselbe Erscheinung an den Meeresküsten infolge des periodischen Temperaturwechsels im Lauf eines Tages zeigen müssen? In der That ist es eine an allen Küsten beobachtete Erscheinung, daß morgens, wenn sich das Land zu erwärmen beginnt, und infolge dessen der Luftdruck hier fällt, der Wind von der See her einsetzt (See-

wind) und abends, wenn umgekehrt infolge der langsameren Abkühlung auf dem Meere der Luftdruck tiefer ist, der Landwind an dessen Stelle tritt. Dieser Vorgang findet nach Blanford gleichfalls in der Hebung der Flächen gleichen Druckes über dem wärmeren Gebiet seine Erklärung.

Ein ganz ähnliches Verhältnis beobachten wir in Gebirgsthälern. Auch hier haben wir es mit einer periodischen Luftverlagerung zu thun, die sich nach Hann auf folgende Weise erklärt. Es stelle Fig. 32 den Längsschnitt eines Thales vor, dessen Boden von M gegen N aufsteigt. Da es in den höheren Lagen eine viel kürzere Luftsäule NB ist, die sich bei der Erhöhung der Temperatur im Lauf des Vormittags ausdehnt, als in den tieferen Thallagen etwa bei M, so wird auch über das Niveau ABC um so weniger Luft hinaufrücken, je mehr wir uns dem Thalschlusse nähern. Es wird also im Niveau ABC der Druck von C gegen A fortlaufend zunehmen, und die Flächen gleichen Druckes A'B'C' werden im Thale sich heben. Während des Temperaturanstieges wird somit die Luft das Thal hinaufgetrieben werden (Bergwind), während der nächtlichen Abkühlung wird sich eine Senkung der Flächen gleichen Druckes einstellen: die Luft weht als Thalwind von C gegen A.

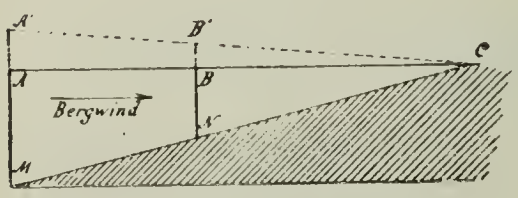


Fig. 32. Berg- und Thalwind.

Jedoch nicht bloß örtlich, sondern ganz allgemein zeigt sich eine periodische Schwankung der Windgeschwindigkeit. Während man ziemlich allgemein an der Erdoberfläche um die Mittagszeit ein Maximum der Windstärke verzeichnen konnte und ein Minimum in den Nachtstunden, ergab sich auf Berggipfeln die bemerkenswerte Beobachtung, daß hier

die Windgeschwindigkeit ihre größten Werte in den Nachtstunden, ihre kleinsten um Mittag erreicht. Diese Erscheinung hat man früher für eine anormale gehalten; heute steht es fest, daß vielmehr dieser Gang (Minimum mittags, Maximum nachts) der eigentlich normale ist und sich etwa von der Höhe des Eiffelturms (ca. 300 m) bis in die Höhen des Pikes-Peaks (4300 m) vorfindet.

Wie aber erklärt sich dann der entgegengesetzte Gang in der Niederung? Espy und Köppen haben schon lange eine sehr einfache Erklärung für diese Erscheinung geliefert. Wir wissen, daß zur Zeit der Erwärmung der Luft ein fortwährender Austausch zwischen der erwärmten unteren und der kühleren oberen Luft stattfindet. Da nun aber wegen der beträchtlichen Reibung der Luft an der Erdoberfläche die Windgeschwindigkeit mit der Erhebung über den Erdboden zunimmt, so wird auch die herabsinkende, kältere Luft eine größere Geschwindigkeit besitzen. Es wird also im Lauf des Tags die langsam bewegte Luft der untern Schichten durch schneller bewegte der oberen Schichten ersetzt, und so an der Erdoberfläche um die Mittagszeit ein Maximum verursacht werden.

Während nun diese Erklärung des abweichenden Ganges in der Niederung als richtig befunden worden ist, steht die Erklärung des normalen Ganges der Windgeschwindigkeit heute noch aus.

Auch im Laufe des Jahrs erleidet die Windgeschwindigkeit eine periodische Verstärkung und Abschwächung: im Winter ist dieselbe größer, im Sommer kleiner; sind ja doch im Winter auch die Druckgegensätze auf unserer Hemisphäre viel größere als im Sommer.

§ 32. Lokale Winde.

Unter den örtlichen Winden erwähnen wir an erster Stelle jenen heißen, trockenen, unter dem Namen Föhn allgemein bekannten Wind, welcher hauptsächlich an der Nordseite, aber auch an der Südseite der Alpen und in anderen Gebirgen auftritt. Lange Zeit hatte man geglaubt, derselbe komme aus der Sahara und verdanke diesem Umstand seine große Trockenheit und hohe Temperatur; heute weiß man, daß sich ein Föhn überall bilden kann, wo ein Luftstrom gezwungen wird, ein Gebirge zu übersteigen, daß aber dieser Wind nur an der Rückseite des Gebirges (Leeseite = Windschattenseite) heiß und trocken erscheint, während er an der Vorderseite (Luvseite) kalt und naß ist.

Die wahre Ursache dieser Erscheinung hat zuerst Hann aufgedeckt, indem er darauf hinwies, daß, wo feuchte Luft aufzusteigen gezwungen wird, infolge der Abkühlung Kondensation eintritt, daß also an der Luvseite eines Gebirges jeder Wind, wenn er nicht schon an und für sich einen hohen Trockenheitsgrad besitzt, zu Niederschlägen Veranlassung geben muß, also hier feucht und kalt erscheinen wird. Was aber wird an der Leeseite eintreten, wo die Luft sich von den Kämmen des Gebirges herabsenkt? Denken wir uns, ein feuchter, gesättigter Luftstrom von 15° Temperatur habe einen nur 2000 m hohen Gebirgsrücken zu überschreiten. Da bei Kondensation die aufsteigende Luft sich um etwa ½° C pro 100 m abkühlt (vgl. S. 19), so wird die Luft in 2000 m Höhe mit einer Temperatur von etwa 5° C anlangen? Was aber geschieht nun an der Leeseite des Gebirges? Da bei dem Herabsinken, wo keine Kondensation erfolgt, die Luft sich viel rascher erwärmt, nämlich um 1° C pro 100 m, so muß unser Luftstrom unten

mit einer Temperatur von 25° C, d. h. um 10° wärmer ankommen als an der Vorderseite des Gebirges. Weil er aber unterwegs den größten Teil seiner Feuchtigkeit verloren hat, so wird er nicht bloß warm, sondern auch außerordentlich trocken erscheinen.

Ein anderer, gleichfalls herabsinkender oder vielmehr fallender Wind ist die Bora, welche besonders an den Küsten von Istrien und Dalmatien gefürchtet ist. Hier, in den schneebedeckten Kesseln und Thälern des Karstes, sammelt sich im Winter die kalte Luft an; wenn sie nun von der allgemeinen Luftbewegung gegen die Adria getrieben wird, so stürzt sie mit großer Geschwindigkeit herab und bringt große Kälte und Trockenheit. Aus dieser Eigentümlichkeit des „Fallwindes" erklärt sich auch das Wehen der Bora in heftigen Stößen, wobei in Triest schon eine Windgeschwindigkeit von 45 m pro Sekunde beobachtet worden ist. Der Bora ähnlich ist der Mistral des Rhonethals, und auch anderwärts, wie im Kaukasus und in Texas, hat man Winde boraartigen Charakters beobachtet.

Fast den entgegengesetzten Charakter wie die Bora hat der gleichfalls über der Adria und in Italien wehende, warme, feuchte, regenbringende Scirocco, der bei manchen Wetterlagen auftritt und Luft aus den südlichen Teilen des mittelländischen Meers in nördlichere Gegenden trägt. Der Levche Spaniens hat mit ihm manche Aehnlichkeit. Ein anderer gefürchteter Lokal-Wind ist der Samum oder Chamsin, der im nördlichen Afrika, in Aegypten und in Arabien auftritt und die heiße, oft bis 50° C erwärmte, mit feinem Staub gemischte Luft der Wüste Sahara mit sich führt. Bis nach Europa vermag jedoch dieser Wüstenwind seinen Einfluß nicht zu erstrecken. Ein anderer, gleichfalls mit Staub beladener

Wüstenwind, der an der Westküste Afrikas als heißer Ostwind erscheint, ist der Harmattan.

§ 33. Cyklonen und Anticyklonen.

Das Auftreten der eben besprochenen örtlichen Winde ist stets durch Störungen der regelmäßigen, allgemeinen Zirkulation bedingt, Störungen, welche wiederum in dem zeitweiligen Auftreten von Gebieten hohen und tiefen Luftdruckes ihren Grund haben. Wie ist es nun aber möglich, daß sich oft längere Zeit hindurch solche Gebiete niedrigen Drucks erhalten, ohne sich auszufüllen, da doch die Gradientkraft die Luft von den Gebieten hohen zu jenen tiefen Druckes zu bewegen strebt? In der That wären dieselben auch nur kurze Zeit möglich, wenn nicht die ablenkende Kraft der Erdrotation bewirken würde, daß die Luft in ihrer Bewegung von der Richtung der Gradientkraft seitlich abgelenkt wird, also nicht geradlinig, sondern wirbelartig, in spiralförmigen Linien sich dem Zentrum des tiefen Druckes nähert. (Figur 33.) Die ablenkende Kraft und die infolge der krummlinigen Bewegung auftretende Centrifugalkraft wirken eben der Gradientkraft entgegen und verhindern teilweise das Einströmen der Luft in das Gebiet geringeren Luftdrucks.

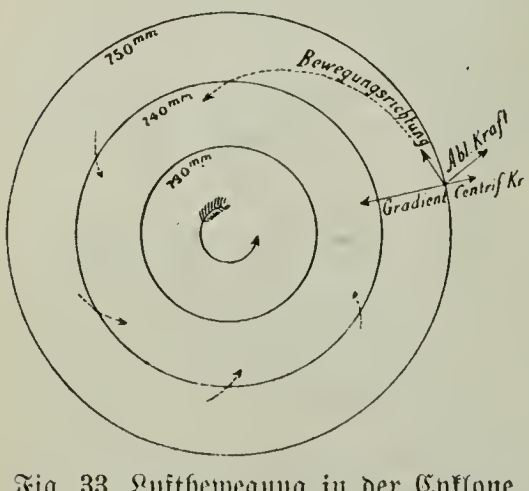


Fig. 33. Luftbewegung in der Cyklone.

Man nennt diese kreis- oder ellipsenförmigen Gebiete niedrigen Luftdrucks, um welche die Luft sich wirbelartig herumbewegt, ganz allgemein Cyklonen. Dieser Ausdruck wird

vielfach nur für jene Wirbel gebraucht, welche in unseren Breiten vorkommen, hier weite Gebiete, oft einen großen Teil von Europa umfassen und auch als „Barometer-Depressionen" bezeichnet werden. Oft versteht man darunter auch Wirbel kleinerer Ausdehnung, doch pflegt man sie dann, wenn sie sich noch völlig überblicken lassen, Tromben oder Tornados, wenn sie größer sind, aber doch die horizontale Ausdehnung ihrer vertikalen nachsteht, Teifune zu nennen.

Übrigens besteht nicht bloß ein äußerlicher, sondern auch ein innerer Gegensatz zwischen diesen Gebilden. Bei den Cyklonen unserer Breiten übersteigt bei weitem die ablenkende Kraft der Erdrotation die Centrifugalkraft, dagegen wirkt bei den Tromben und Tornados und wohl auch bei den Teifunen umgekehrt in erster Linie die Centrifugalkraft der Gradientkraft entgegen.

Da die Ablenkungskraft auf der nördlichen Hemisphäre die Luft stets nach rechts abzulenken sucht, wird dieselbe nur dann dem Gradienten entgegenwirken, wenn sich die Luft dem Sinne des Zeigers der Uhr entgegen um das Minimum des Druckes bewegt (Fig. 33), während umgekehrt auf der südlichen Hemisphäre nur solche Cyklonen möglich sind, bei welchen die Bewegung im Sinne des Uhrzeigers erfolgt.

Diese Gesetze wurden zuerst in Amerika von Coffin und Ferrel aufgestellt, in Europa unabhängig etwas später von Buys-Ballot. Man nennt deshalb die Regel, daß auf der Nordhemisphäre, wenn man dem Wind den Rücken zukehrt, der niedrige Luftdruck zur linken Hand liegt, das Buys-Ballotsche Gesetz. Bei den Tromben und Tornados entfällt diese Bedingung, da die Centrifugalkraft von der Richtung der Bewegung unabhänig ist. Grundsätzlich wären Tromben, in

welchen die Wirbelbewegung im Sinne des Uhrzeigers erfolgt, so gut möglich, wie jene im entgegengesetzten Sinne; die Beobachtungen haben aber ergeben, daß auch hier auf der Nordhemisphäre die Bewegungen gegen den Uhrzeiger und auf der Südhemisphäre mit dem Uhrzeiger bei weitem überwiegen. Diese Thatsache beweist, daß bei der Entstehung auch dieser Wirbel die ablenkende Kraft der Erdrotation eine große Rolle spielt.

Die Eigentümlichkeit, daß bei den Tromben und Tornados die Centrifugalkraft die erste Rolle spielt, rührt daher, daß die Gradienten und die Windgeschwindigkeiten in diesen Gebilden weit höhere Werte erreichen als in unseren Cyklonen. So sank bei der sogenannten False-Point-Cyklone am 21. September 1885 das Barometer vom Abend bis um 6½ Uhr morgens, also in nicht ganz sieben Stunden, von einem Stand von 750 mm bis zu 689.2 mm: also um volle 61 mm; schon um 4 Uhr nachm. stand es wieder auf 750 mm. Da sich diese Cyklone mit einer Geschwindigkeit von 13 bis 14 engl. Meilen fortbewegte, so muß in derselben ein Gefälle von etwa 33 mm pro 100 km vorhanden gewesen sein.

Ein anderer heftiger Tornado, von welchem genauere Daten vorliegen, ist derjenige, welcher am 29. April 1892 die Insel Mauritius heimgesucht hat. Auch hier fiel das Barometer in nur 4 Stunden um 38 mm; die Windgeschwindigkeit stieg bei diesem Orkan auf 195 km pro Stunde; dieser Geschwindigkeit entsprachen auch die Verwüstungen, die der Orkan auf Mauritius anrichtete. Ein Dritteil der Stadt Port-Louis wurde zerstört; mehr als 1500 Personen wurden erschlagen, an 3000 verwundet, ja große Schiffe aus dem Meer gehoben und in die Stadt geschleudert. Als nach wenigen Stunden wieder ein sternenheller Himmel auf die

Verwüstungen herniederblickte, standen gegen 25000 Leute obdachlos zwischen den Trümmern.

Gegenstücke zu den Cyklonen bilden die Gebiete hohen Druckes, die man deshalb auch „Anticyklonen" benannt hat. In ihnen strömt die Luft vom Centrum weg, jedoch wieder wegen der ablenkenden Kraft der Erdrotation nicht geradlinig, sondern in spiralförmigen Linien, auf der Nordhemisphäre im Sinne des Zeigers der Uhr. (Fig. 34.)

Mit diesen horizontalen Wirbelbewegungen sind übrigens die Bewegungen in Cyklonen und Anticyklonen noch keineswegs erschöpft; auch in vertikaler Richtung kommen solche vor. Der Niederschlag, welcher im Innern der Cyklonen aufzutreten pflegt, lehrt uns, daß hier eine aufsteigende Bewegung erfolgt; der heitere wolkenlose Himmel der Anticyklonen liefert den Beweis, daß in ihnen die Luft in absteigender Bewegung begriffen ist.

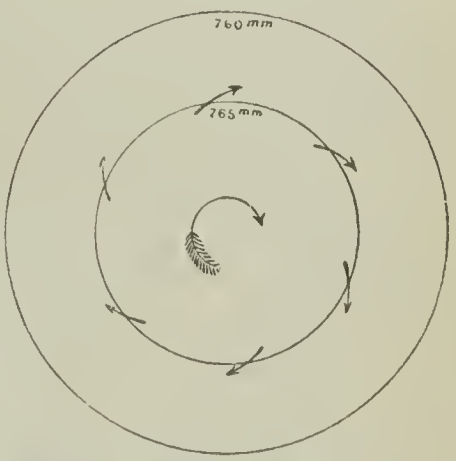


Fig. 34. Luftbewegung in der Anticyklone.

Wir werden später sehen, daß es gerade diese Cyklonen und Anticyklonen sind, durch deren Bildung und Fortbewegung der Wechsel unserer Witterung bedingt ist: um so größeres Interesse bietet somit die Frage nach ihrer Entstehung.

Bis in die neueste Zeit nahm man mit Ferrel an, daß für die Bildung der Cyklonen und Anticyklonen die Temperaturgegensätze in der Atmosphäre maßgebend seien. Da kalte Luft viel schwerer ist als warme, so erklärte man sich die Gebiete hohen Druckes ganz einfach durch die Annahme, daß die über dem betreffenden Gebiet liegende Luftsäule ver-

hältnismäßig kalt sei und daher höheren Druck habe. Die Beobachtungen an der Erdoberfläche bestätigten ja auch diesen Schluß, denn die Anticyklonen zeichnen sich hier durch sehr tiefe Temperaturen aus. Umgekehrt erklärte man sich die Gebiete tiefen Druckes durch eine abnorm hohe Temperatur der betreffenden Luftsäule. Diese Annahme schien so einfach, daß es kein Wunder ist, wenn sie allgemeinen Beifall fand. Erst als mit der Errichtung von Gipfelstationen auch aus höheren Luftschichten Beobachtungen zu erlangen waren, erwies sich diese Annahme als eine unrichtige. Insbesondere aus den auf dem Sonnblick angestellten Beobachtungen, besonders im Winter, zog Hann den Schluß, daß gerade umgekehrt der Luftkörper der Cyklonen kalt, jener der Anticyklonen aber verhältnismäßig warm ist, und daß nur in den allerunterſten Schichten im Innern einer winterlichen Anticyklone wegen des heiteren Himmels und der dadurch bedingten vermehrten Ausstrahlung die Temperatur eine abnorm niedrige wird.

Da herabsinkende Luft sich erwärmt, aufsteigende sich abkühlt, (vergl. das über den Föhn Gesagte) so ist es auch ganz erklärlich, daß die Anticyklonen mit ihrer absteigenden Luftbewegung verhältnismäßig warm, die Cyklonen mit aufsteigender Bewegung kalt sind.

Wenn nun die Luft in den Cyklonen aufsteigt, so muß dieselbe in den höheren Schichten notwendig wieder abströmen. Daß dem wirklich so ist, hat Vettin durch Wolkenbeobachtungen bestätigt; er fand unten ein Einströmen, oben ein Ausströmen aus den Cyklonen. Nach der Ferrellschen Theorie nahm man an, daß die Cyklonen in den höheren Schichten in Anticyklonen übergehen, daß also oben ein Gefälle nach außen vorhanden sei. Nach Ferrels Theorie bestand also weiter keine Schwierigkeit. Wenn aber wirklich der Luftkörper einer Cyklone kalt ist,

dann muß (vergl. S. 61) in höheren Schichten der Druck ein verhältnismäßig noch tieferer sein, also die Cyklone, je höher wir uns über die Erdoberfläche erheben, sich um so mehr vertiefen. Wie ist aber dann ein Ausströmen aus ihr möglich?

Bezold hat gezeigt, daß dies sehr wohl möglich ist. Es sind ja drei Kräfte thätig: 1) die nach innen gerichtete Gradientkraft, 2) die nach außen gerichtete ablenkende Kraft, 3) die Centrifugalkraft. An der Erdoberfläche wird nun allerdings im allgemeinen die Gradientkraft größer sein als die beiden nach außen wirkenden Kräfte, so daß entsprechend der Gradientkraft ein Einströmen stattfindet. Da aber die Windgeschwindigkeit wegen der verminderten Reibung mit der Erhebung über der Erdoberfläche wächst, so wachsen mit ihr auch die nach außen wirkenden Kräfte, und es werden deshalb in gewisser Höhe die nach außen und die nach innen wirkenden Kräfte sich das Gleichgewicht halten. Die Cyklone ist dort, wie Bezold sagt, „centriert"; noch höher wird die nach außen wirkende Kraft sogar überwiegen: es tritt dort eine Bewegung gegen den Gradienten ein!

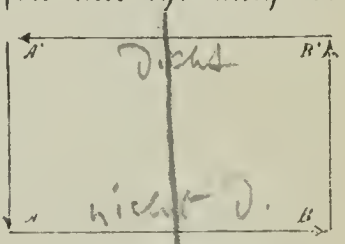


Fig. 35.

Was nun die Entstehungsursache der Cyklonen und der Anticyklonen betrifft, so ist in neuerer Zeit wenigstens der Weg zu deren Erklärung angebahnt worden, und zwar von E. v. Oppolzer, dem Sohne des bekannten Wiener Astronomen.

Denken wir uns (Fig. 35) über A einen absteigenden, über B einen aufsteigenden Luftstrom, also eine regelmäßige Cirkulation von A nach B über B′ und A′ nach A zurück. Wenn die Luft trocken ist, so wird über A wie über B die Temperatur-

abnahme 1° pro 100 m betragen, und, wenn nur ein geringes Gefälle zur Ueberwindung der Reibung vorhanden ist, kann dieser Kreislauf ungehindert fortwähren. Wie aber, wenn wir uns die trockene Luft durch feuchte ersetzt denken, wie sie thatsächlich in der Atmosphäre vorhanden ist? Beim Absteigen ändert sich offenbar nichts, die Temperaturabnahme wird wieder 1° pro 100 m betragen; beim Aufsteigen aber tritt nun Kondensation ein und die Temperaturabnahme wird nur etwa ½° pro 100 m betragen. Und was wird die Folge sein? Wenn sich die über A herabsinkende Luft stärker erwärmt, als sich die über B aufsteigende abkühlt, dann wird offenbar die von A gegen B strömende Luft gegen früher weniger dicht sein, und umgekehrt die von B′ gegen A′ strömende dichter. Durch denselben Querschnitt wird also jetzt unten von A weniger abströmen, als oben zuströmt, und umgekehrt nach B wird weniger zuströmen, als oben abströmt. Ueber A wird also eine Anhäufung von Luft, ein Barometer-Maximum, eine Anticyklone entstehen, über B ein Deficit an Luft, ein Minimum, eine Cyklone.

Feuchtigkeit.

§ 34. Absolute und relative Feuchtigkeit.

In dem Kapitel über die Bestandteile der Atmosphäre haben wir von dem Betrag des Wasserdampfes und dessen Bedeutung Kenntnis erhalten. Diesen Betrag, den Gehalt eines bestimmten Quantums Luft an Wasserdampf etwa in Grammen ausgedrückt, welcher von geringen Mengen bis zu etwa 25 gr pro Kubikmeter Luft wechselt, nennt man die absolute Feuchtigkeit der Luft. Da nun aber dieser

in der Luft schwebende Wasserdampf zu jenem Druck der Atmosphäre beiträgt, welchen wir mit dem Barometer messen, so kann man diese absolute Feuchtigkeit auch durch den Anteil bestimmen, welchen sie an dem Luftdruck hat, und in diesem Sinne spricht man statt von „absoluter Feuchtigkeit" von dem „Dampfdruck" und giebt denselben, wie den Luftdruck, in Millimeter Quecksilberhöhe an.

Mit dem Begriffe dieser absoluten Feuchtigkeit sind aber die Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft noch keineswegs vollständig bestimmt. Speziell ihre Bedeutung für die Organismen auf der Erdoberfläche wird weit mehr durch jene Menge Wasserdampfes bestimmt, welche die Luft noch zu fassen vermag. Je nach der Temperatur ist nämlich der Betrag des Wasserdampfes, welchen die Luft bis zu ihrer vollen Sättigung aufnehmen kann, ein verschiedener, aber, wie die folgende Tabelle lehrt, ein festbestimmter:

Menge des Wasserdampfs bei Sättigung.

Temperatur:	−10°	0°	10°	20°	30°
Betrag in gr pro m³:	2·4	4·9	9·3	17·2	30·1
Dampfdruck in mm:	2·2	4·6	9·1	17·4	31·5

Da es also vornehmlich darauf ankommt, wie weit die Luft von der Sättigung entfernt ist, so sah man sich genötigt, einen neuen Begriff einzuführen: die relative Feuchtigkeit, d. i. das Verhältnis des thatsächlichen Wasserdampfgehalts zu dem bei der betreffenden Temperatur möglichen. Diese Verhältniszahl pflegt man in Prozenten anzugeben.

Gerade dieser letztere Begriff bestimmt in erster Linie die Trockenheit eines Klimas. Die Schnelligkeit der Verdunstung und des Trocknens feuchter Körper, die Transpiration durch die Haut und damit unser Durstgefühl — alles dies rührt von dem geringen Betrag der relativen Feuchtigkeit her.

Unsere Nordpolfahrer erzählen aber auch von dem großen Durste, der sie in den Polargegenden quäle; und doch ist hier die Luft relativ sehr feucht, ja fast mit Wasserdampf gesättigt. Man hat diesen Widerspruch so erklärt: Da wir durch die Lungen fortwährend Wasserdampf ausatmen und die ausgeatmete, stets auf die Körpertemperatur erwärmte Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, so verbrauchen wir um so mehr Feuchtigkeit, je geringer die eingeatmete Wasserdampfmenge, d. h. je geringer die absolute Feuchtigkeit ist. Eine näher liegende Erklärung ist wohl die, daß bei den fortwährenden Mühen einer derartigen Expedition die Transpiration eine vergrößerte ist.

Oder ein anderer scheinbarer Widerspruch: In den feuchten Polargegenden legt man die feuchtgewordenen Pelze auf den Schnee, und sie trocknen über Nacht; ja getrocknete Körper enthalten hier bei der geringen absoluten Feuchtigkeit weit weniger Wasser als solche, die in warmen Klimaten bei großer absoluter Feuchtigkeit getrocknet wurden. Trotz des häufigen Nebels fand der Nordpolfahrer Payer zu seinem Erstaunen eine aufbewahrte Cigarre zu Staub verwandelt; fast alle Feuchtigkeit war ihr entzogen worden. Wir haben es hier mit zwei ganz verschiedenen Dingen zu thun: die Schnelligkeit der Verdunstung wird durch die relative Feuchtigkeit bestimmt, die Fähigkeit der Luft aber, den Körpern den Wassergehalt zu entziehen, also die Intensität der Austrocknung, hängt auch von der absoluten Feuchtigkeit ab.

Mit diesen beiden Begriffen ist aber der Feuchtigkeitszustand der Luft auch vollständig und auf das Einfachste bestimmt. Sie beide sind notwendig, aber auch hinreichend zu seiner Charakterisierung. Für manche Zwecke ist es allerdings von Vorteil, etwa den „Thaupunkt“ einzuführen, d. i.

die Bezeichnung der Temperatur, in der bei der gegebenen Wasserdampfmenge Sättigung eintreten würde, oder das sogenannte „Sättigungsdefizit", d. i. jene Menge Wasserdampf, die ein bestimmtes Luftquantum bis zur Sättigung noch zu fassen vermag. Ein neuer physikalischer Begriff wird aber damit nicht eingeführt.

§ 35. Psychrometer und Hygrometer.

Wie messen wir nun den Feuchtigkeitsgehalt der Luft? Am gewöhnlichsten mit Hilfe des Augustschen „Psychrometers", d. h. eines Doppelthermometers, von dem das eine Thermometer die gewöhnliche Lufttemperatur angiebt, während das zweite (Fig. 36) durch eine Mousselinhülle, von welcher ein Docht in ein Gefäß mit Wasser taucht, fortwährend feucht erhalten wird. Ist die Luft verhältnismäßig trocken, so wird beständig Wasser verdampfen, und da zur Verdampfung Wärme verbraucht wird, wird dieses befeuchtete Thermometer notwendig tiefer zeigen, als das trockene. Stehen beide Thermometer gleich, so beweist dies offenbar, daß von der Wasserschichte nichts verdampft, also die Luft bereits gesättigt ist; je größer dagegen die Psychrometerdifferenz ist, um so trockener die Luft. In den sogenannten Psychrometertafeln[1]) ist ein für allemal berechnet, welche Feuchtigkeit jeder einzelnen Psychrometerdifferenz entspricht.

Fig. 36. Psychrometer.

Da die Verdampfung aber auch von der Windgeschwindigkeit abhängt, so ist es von großem Vorteil, daß Aßmann auch

[1]) Psychrometer-Tafeln für das hundertteilige Thermometer. Nach H. Wilds Tafeln bearbeitet von C. Jelinek. Vierte Auflage. Wien 1894. Engelmanns Verlag in Leipzig.

das befeuchtete Thermometer bei seinem Aspirationspsychrometer in den stets konstanten Luftstrom eingefügt hat; nicht bloß die Angaben der Lufttemperatur, sondern auch die der Feuchtigkeit sind also mit Aßmanns Instrument weit verläßlicher.

Man kann die Feuchtigkeit auch mit Hilfe der „Hygrometer" messen. Wir besprechen hier nur jene, die auf der Eigenschaft der sogenannten hygroskopischen Körper beruhen, Feuchtigkeit aus der Luft anzuziehen und sich dadurch zu verlängern. Die Haarhygrometer (Koppe's Haarhygrometer, Lambrechts Polymeter), beruhen hierauf. Durch die Verkürzung oder Verlängerung eines einzelnen Haares oder eines Bündels derselben wird ein Zeiger, oder bei selbstregistrierenden Apparaten (Hygrograph von Richard) ein Schreibstift bewegt, welcher direkt die relative Feuchtigkeit angiebt.

Solange die Wasserschichte des Psychrometers nicht gefroren ist, sind seine Angaben wohl verläßlicher; bei tiefen Temperaturen aber ist ein gutes Haarhygrometer dem Psychrometer vorzuziehen, wenn letzteres nicht sehr sorgfältig behandelt wird.

§ 36. Verdampfung.

Woher rührt nun aber der fortwährende Wechsel im Feuchtigkeitsgehalte der Luft? Ursache desselben ist die größere oder geringere Verdampfung des Wassers, welches sich überall auf der Erdoberfläche vorfindet, und der Wechsel der Luftströmungen, die uns Luft bald aus feuchten, bald aus trockeneren Gegenden zuführen.

Die Verdampfung findet nun aber keineswegs allein über Wasserflächen statt, wenn sie auch über diesen am intensivsten ist: vor allem ist es der bewachsene Erdboden, welcher durch die pflanzlichen Organismen eine bedeutende Menge Wasser

an die Atmosphäre abgiebt, und auch von feuchtem Erdreich verdampft, wie Untersuchungen Batellis lehren, sehr viel.

Die Wassermenge, welche aus feuchtem Erdreich verdunstet, ist sogar bei steigender Temperatur größer, als die aus einer freien stagnierenden Wasseroberfläche verdunstende, bei sinkender Temperatur aber kleiner. Ebenso geht bei zunehmender Windgeschwindigkeit die Verdampfung über einer freien Wasseroberfläche rascher vor sich, als über feuchtem Erdreich.

Zur Messung der Verdunstung bedient man sich der „Verdunstungswagen" (Fig. 37, Verdunstungswage nach Wild), an deren Zeiger die Veränderungen des Gewichts eines flachen, mit Wasser gefüllten Gefäßes abzulesen sind. Das Instrument zeigt unmittelbar an, wie viele Millimeter die verdampfte Wasserschichte hoch war. Uebrigens geben diese Meßinstrumente je nach der Größe der verdunstenden Fläche verschiedene Resultate; denn wenn rings um eine verdunstende Fläche sich gleichfalls Wasser befindet, also von der Seite schon feuchte Luft zuströmt, so verdampft natürlich weniger Wasser.

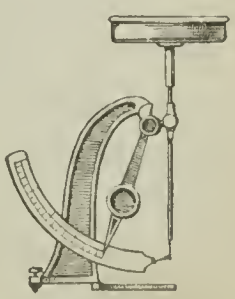


Fig. 37. Verdunstungswage.

Der Betrag der Verdampfung in einer gewissen Zeit ist je nach der Temperatur sehr verschieden; so verdunsten in Massana bei einer mittleren Jahrestemperatur von etwa 30° C im Mittel pro Tag etwa 7 mm, im Jahr 2300 mm. Nach den in Montpellier angestellten Beobachtungen ist die Verdampfung in den Sommermonaten etwa dreimal so groß wie in den Wintermonaten, ebenso im Lauf des Tages etwa viermal größer als in der Nacht.

Besonders wichtig ist, worauf besonders Bezold aufmerksam

gemacht hat, die Verdampfung für die Bewegung der Wärme in der Atmosphäre. Mit jedem verdampfenden Millimeter (d. i. pro m^2 1 Kilogramm Wasser) werden an der Erdoberfläche etwa 600 Groß-Calorien[1]) (Wärmeeinheiten) verbraucht und mit dem Wasserdampf in höhere Luftschichten emporgeführt. Daß bei dem Wärmetransport durch Konvektion die Verdampfungswärme eine große Rolle spielt, haben wir im Kapitel über die Temperaturabnahme mit der Höhe gesehen. Durch die Verdampfung wird aber Wärme nicht bloß in die höheren Schichten, sondern auch vom Ozean zum Land und von heißeren Gegenden in kältere geführt.

§ 37. Periodische Aenderungen im Feuchtigkeitsgehalte der Luft und die Abnahme desselben mit der Höhe.

In engem Zusammenhang mit der Verdampfung stehen die periodischen Aenderungen der absoluten Feuchtigkeit. In der heißen Jahreszeit erreicht dieselbe ihr Maximum, im Winter ihr Minimum.

Nicht ganz so regelmäßig ist der tägliche Gang der absoluten Feuchtigkeit. Auf Berggipfeln geht derselbe, wie Hann gezeigt hat, zwar nahezu parallel mit der Temperatur, und ähnlich verhalten sich auch manche Stationen der Niederung. Meistens aber wird in den letzteren von 9^h vormittags an der Dampfdruck wieder sinken, da um diese Zeit unter dem Einfluß der Bodenerwärmung die aufsteigende Bewegung der Luft beginnt, wobei die Feuchtigkeit von den tieferen Schichten in die Höhe geführt wird. Das „normale" Maximum ist somit durch dieses von der Konvektion herrührende Minimum um etwa 4^h Nachmittags in zwei Maxima ge-

[1]) Eine große Calorie ist die Wärme, um 1 kg Wasser um 1° C zu erhöhen.

spalten, welche ungefähr auf 9^h früh und 9^h abends fallen. Der Eiffelturm zeigt nach Angot nur ein ausgesprochenes Maximum um 9^h früh und ein Minimum um 5^h Abends.

Da die Schwankungen der absoluten Feuchtigkeit im Lauf des Jahres im allgemeinen nicht so groß sind, als die der Temperatur, so giebt bei der relativen Feuchtigkeit, welche von Dampfdruck und Temperatur abhängt, der Gang dieser letzteren den Ausschlag, sodaß die relative Feuchtigkeit im Winter und am Morgen ihr Maximum, im Sommer und nachmittags ihr Minimum erreicht. Dies gilt jedoch nicht mehr für höhere Luftschichten. Da diesen gerade in der warmen Tages- und Jahreszeit der meiste Wasserdampf zugeführt wird, so ist hier der Gang ein umgekehrter. Zur besseren Uebersicht dieser Verhältnisse folgt hier für Wien und Sonnblick (3105 m) der jährliche Gang der relativen und absoluten Feuchtigkeit. Der tägliche Gang ist weit geringer.

	Jan.	März.	Mai.	Juli.	Sept.	Nov.	
Jährlicher Gang der relativen Feuchtigkeit.							
Wien:	84	73	67	71	76	84	%
Sonnblick:	84	90	91	93	89	82	%
Jährlicher Gang der absoluten Feuchtigkeit.							
Wien:	3·4	4·4	9·2	11·3	9·5	4.8	mm
Sonnblick:	1·5	1·5	3·3	4·4	3·8	1·9	mm

Dieses Beispiel belehrt uns auch über die vertikale Verteilung: die relative Feuchtigkeit nimmt zu, die absolute ab, da ja die Temperatur oben eine viel geringere ist, also die Luft weniger Feuchtigkeit zu fassen vermag. Nach dem von Hann gefundenen Gesetz für die Abnahme des Dampfdrucks [1])

[1]) $\log e_h = \log e_o - \frac{h}{6517}$ wo e_o der Dampfdruck unten, e_h derselbe in der Höhe h ist.

giebt folgende Tabelle den Dampfdruck für die verschiedenen Höhen unter der Voraussetzung an, daß der Dampfdruck am Meeresniveau 10 mm beträgt.

Dampfdruck.

Höhe:	0	500	1000	2000	3000	5000 m
Dampfdr.:	10·0	8·4	7·0	4·9	3·5	1·7 mm

Die horizontale Verteilung der Feuchtigkeit hängt in erster Linie vom Vorhandensein größerer Wasserflächen ab; im übrigen ist der Dampfdruck am größten in den Tropen, in den höheren Breiten am kleinsten.

Bewölkung.

§ 38. Kondensation.

Durch die „Konvektion" wird, wie früher gezeigt worden ist, die warme, feuchte Luft vom Erdboden in höhere Schichten geführt. Da sich die Luft beim Aufsteigen in höhere Schichten abkühlt, so wird sich dieselbe immer mehr dem Sättigungspunkte nähern und denselben schließlich erreichen.

Was geschieht dann? Es tritt nicht sofort Kondensation, d. i. Ausscheidung des Wasserdampfes ein; in der Regel erfolgt in der Atmosphäre „Uebersättigung". Wo sich der gesättigten Luft Wände darbieten, schlägt sich der Dampf wohl sofort nieder; in der freien Atmosphäre aber, in welcher die Kondensation nur in Form von Tröpfchen erfolgen kann, ist dies deshalb nicht der Fall, weil stark gekrümmte Kugeloberflächen, wie es Tröpfchen sind, viel leichter verdampfen, als ebene Flächen, und die Dampfspannung, wenn sich der

Dampf auf Kugelflächen niederschlagen soll, viel größer sein muß, als auf ebenen Flächen.

Sehr wichtig ist übrigens (vergl. S. 15) für die Kondensation des Dampfes in der Luft, also für die Wolkenbildung, die Anwesenheit von Staubteilchen, welche die Kerne abgeben, um die sich der Dampf kondensiert. Aitken hat auch wirklich nachgewiesen, daß die Luft in Wolken stets mehr Staubteilchen enthielt, als die außerhalb der Wolken befindliche.

Uebrigens war noch nicht mit Sicherheit zu ermitteln, wie viel Wasser ein bestimmtes Quantum Wolke faßt; es scheint, daß ein Kubikmeter Wolkenluft etwa 1—3 gr Wasser in Tröpfchenform enthält.

Ist die Temperatur tiefer als 0°, so erfolgt die Kondensation sofort in Form von Eiskrystallen. Dagegen ist es möglich, daß Tröpfchen, die sich bereits gebildet haben, wenn die Temperatur sinkt, auch unter 0° sich zwar abkühlen, aber nicht erstarren: es tritt „Ueberkaltung" ein. Aßmann bemerkte auf dem Brocken bei Anwendung des Mikroskops, daß bei einer Temperatur von —10° noch flüssige Wassertröpfchen in der Luft schwebten, die aber sofort bei Berührung eines festen Körpers zu Eisklümpchen ohne krystallinische Struktur erstarrten.

Nach Huttons Regentheorie nahm man als Ursache der Sättigung der Luft und damit der Kondensation und Regenbildung die Mischung von kalter und warmer Luft an. Hann hat jedoch den Nachweis geliefert, daß die Ursache der Sättigung vielmehr das Aufsteigen der Luft ist, und Pernter hat durch Berechnung gezeigt, daß die bei Mischung kalter und warmer Luft eintretende Kondensation weitaus nicht hinreicht, um die thatsächlich kondensierten Dampfmengen zu erklären.

Eine gleichfalls irrige Ansicht ist die, daß der Dampf sich

in Wasserbläschen niederschlage. Es steht fest, daß die Kondensation nur in Tröpfchen erfolgt, und zwar in Tröpfchen von einem Durchmesser von 0.0059 mm bis zu 0·0169 mm (nach Aßmanns Messungen); Dines beobachtete sogar einen Durchmesser von 0.035 mm, ja bei dichtem Nebel sogar von 0·127 mm.

Wie erklärt sich nun das Schweben dieser Tröpfchen? Diese Erscheinung ist zweifellos nur eine scheinbare.

Wenn die Luft nicht bewegt ist, fallen alle Tröpfchen unter dem Einfluß der Schwerkraft abwärts; da aber diese Bewegung wegen des Luftwiderstandes eine geringe ist,[1]) da ferner die fallenden Tröpfchen, welche in trockenere Schichten gelangen, sofort verdampfen, andererseits in der Höhe immer neue Tröpfchenbildung erfolgt, so macht ein solches Conglomerat von Tröpfchen, d. i. eine Wolke, den Eindruck, als sei sie ein wenig veränderlicher, schwebender Körper. In Wahrheit herrscht also in der Wolke fortwährende Bewegung, ein stetes Neubilden und Wiedervergehen.

§ 39. Wolkenformen.

So einfach nun aber auch die Entstehung einer Wolke scheint, so ungemein verschieden und mannigfach sind ihre Formen. Man hat versucht, diese letzteren nach ihrer Entstehung in gewisse Klassen einzuteilen. Eine solche organische Klassifikation scheiterte aber, weil wir über die Ursachen der verschiedenen Arten zu wenig wissen. Da indessen eine international vereinbarte Klassifikation immer dringenderes Bedürfnis wurde, so hat man auf die alte Howardsche,

[1]) Selbst Tropfen von 0·5 mm Durchmesser haben eine Fallgeschwindigkeit von kaum 4 m pro Sekunde; mit abnehmender Tropfengröße nimmt diese sehr rasch ab.

durch Goethe populär gemachte willkürliche Einteilung zurückgegriffen, welche die vier Grundformen annimmt:

1) Cirrus, d. i. die aus feinen weißen Fasern bestehende Federwolke;

2) Cumulus, d. i. die vorzugsweise im Sommer vorkommende massige, geballte, oft glänzend weiße Haufenwolke mit ihren zahlreichen, abgerundeten Kuppen;

3) Stratus, d. i. die niedrige, weitausgedehnte, zusammenhängende Schichtwolke;

4) Nimbus, d. i. jene Wolke, aus welcher bereits Regen herabfällt.

Durch Kombination dieser Hauptformen können entstehen:

1+3 5) Cirro-Stratus, ein feiner, weißer Schleier, in welchen der Cirrus bei zunehmender Bewölkung übergeht; er verleiht dem Himmel ein gewisses weißliches Aussehen;

1+2 6) Cirro-Cumulus, die bekannten Schäfchen, kleine weiße, vielfach in Reihen angeordnete Ballen-Wölkchen;

2+1 7) Alto-Cumulus (oder Cumulo-Cirrus), eigentlich dieselbe Form, aber gröber, weißlich grau mit beschatteten Teilen;

3+1 8) Alto-Stratus (oder Strato-Cirrus), dichte, graue Wolkenschleier, sozusagen die gröbere Form des Cirro-Stratus;

3+2 9) Strato-Cumulus, Wolken, die eine Schichte bilden, aber nicht genug zusammenhängen, um als Stratus, und nicht genug geballt sind, um als Cumulus bezeichnet zu werden;

2+4 10) Cumulo-Nimbus, die dunkle, massige Gewitterwolke mit cumulusartigen Umrissen, aus welcher der Regen in dichten Strömen niederfällt.

Dies sind die zehn Wolkenformen, welche von dem internationalen Meteorologen-Kongresse zu Paris 1889 angenom-

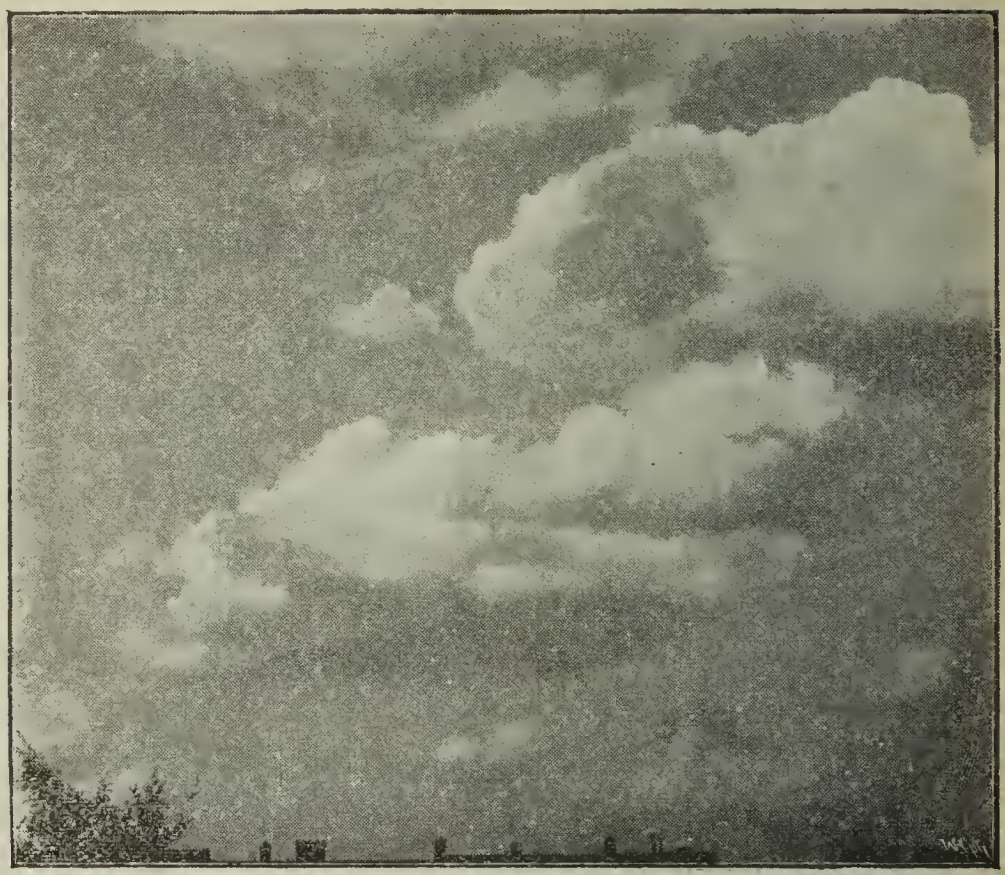


Fig. 38a. Cumulus-Wolke.

Fig. 38c. Strato-Cumulus.

Fig. 38b. Cirrus-Wolke.

Fig. 38d. Alto-Stratus.

men worden sind. Damit aber auch überall unter demselben Wort dieselbe Form verstanden werde, wurde die Herausgabe eines Atlasses von charakteristischen Wolkenbildern beschlossen. Die in Figur 38 wiedergegebenen Wolkenformen sind dem von Singer im Verein mit anderen Fachleuten herausgegebenen Atlasse entnommen.[1])

Streng genommen, wäre noch eine Form anzuführen: der Nebel, d. h. eine Wolke, in der wir uns befinden; meistens eine Wolke, welche auf der Erdoberfläche aufliegt.

Ueber die Entstehung der verschiedenen Wolkenformen wissen wir wenig Sicheres. Gewiß ist nur, daß sich die Cumulus-Wolken am oberen Ende eines aufsteigenden Luftstromes bilden. Was das eigenartige Aufblähen und Vorstoßen der Cumulusköpfe betrifft, so hat Bezold dieselben als durch plötzlich auftretende Erwärmungen entstanden erklärt, deren Ursache er in der Uebersättigung des Dampfes findet. Da in dem Augenblick, wo Kondensation eintritt, ein beträchtliches Wärmequantum frei wird, so muß mit der plötzlichen Kondensation auch eine plötzliche Ausdehnung verbunden sein. In Cumulus-Wolken erkennen wir in der That eine fortwährende Bewegung.

Wenn nun an der Oberseite solcher Cumuli die Tröpfchen unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung abermals verdampfen und von neuem in höhere Luftschichten emporgeführt werden, so kann abermals in höheren Schichten Kondensation eintreten, und es entstehen die Cirrus-Wolken. Da diese Eiskrystalle enthalten, so erklärt sich ihr dünnes, haarförmiges, lockiges Gefüge.

Ebenso ist zweifellos, daß der Stratus durch Abkühlung

[1]) Die Photographen sind uns von der Direktion der k. bair. meteorol. Centralanstalt in der liebenswürdigsten Weise zur Reproduktion überlassen worden.

infolge von Ausstrahlung entsteht. Stratus ist ein in gewissen Höhen schwebender Nebel.

§ 40. Wolkenbeobachtungen.

Eine systematische Beobachtung der Wolken ist erst in der allerneuesten Zeit angebahnt worden. Man begnügte sich mit der Schätzung der Bewölkung, d. h. man gab an, wie viele Teile des Himmelsgewölbes zu der betreffenden Zeit mit Wolken bedeckt waren. Es geschieht dies meist nach einer zehnteiligen Skala oder in Prozenten.

Man ist sogar in den Stand gesetzt, mit Hilfe eines selbstregistrierenden Apparats für jede Stunde des Tages die Bewölkung anzugeben. Pernter und später Billwiller haben nämlich den Nachweis erbracht, daß sich Bewölkung und Sonnenscheindauer so ziemlich ergänzen. Scheint z. B. die Sonne während des 0·65 Teils einer gewissen Zeit, so ist die Bewölkung fast genau $1 - 0{\cdot}65 = 0{\cdot}35$, also 35%.

Behufs der Registrierung der Sonnenscheindauer bedient man sich des Campbell-Stokesschen Sonnenscheinautographen (Fig. 39), einer Glaskugel, die als Brennglas wirkt und ein Loch in einen Papierstreifen einbrennt. Rückt die Sonne am Himmel weiter, so bewegt sich der Brennpunkt in umgekehrter Richtung über das Papier, und in dasselbe wird ein Strich eingebrannt, solange die Sonne scheint, während es unversehrt bleibt, wenn Wolken vor die Sonne treten.

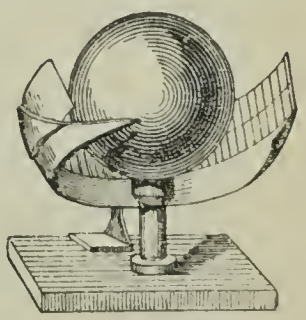


Fig. 39. Sonnenscheinautograph.

Was nun den täglichen Gang der Bewölkung anlangt, so zeigt sich auf Berggipfeln um Sonnenaufgang ein Minimum der Bewölkung, und nun nimmt die Bewölkung

bis gegen Abend stetig zu. Ursache hiervon sind die Nebelhauben auf den Berggipfeln, welche sich in dem längs derselben den Tag über aufsteigenden Luftstrom bilden. Hört der Thalwind auf und beginnt der Bergwind, so sinkt die Luft längs der Berggipfel herab und bewirkt eine allmähliche Auflösung dieser Wolkenmassen.

Viel unregelmäßiger ist der tägliche Gang der Bewölkung in der Ebene. Morgens findet überall eine größere Bewölkung statt (Einfluß der Nebelbildung), ebenso um etwa 2^h nachmittags, um welche Zeit die aufsteigende Luftbewegung am intensivsten wird. Am Abend ist die Bewölkung meistens am geringsten.

Im Laufe des Jahrs zeigt der Winter die größte, der Sommer die kleinste Bewölkung.

Wenig ist der Zug der Wolken, dessen Richtung und Geschwindigkeit beobachtet worden; mit Hilfe eines Spiegels jedoch, der in Felder eingeteilt ist, des „Wolkenspiegels", ist dies leicht möglich. Weit schwieriger ist die Bestimmung der Höhe der Wolken, sie erfordert genaue Meßinstrumente und zwei Beobachter. Erst aus neuerer Zeit liegen solche Messungen vor, und es ergaben sich:

Cirrus und Cirro-Stratus:	8000—10 000 m
Cirro-Cumulus:	6000—8000 m
Alto-Stratus und Alto-Cumulus:	4000—6000 m
Strato-Cumulus, Cumulus, Cumulo-Nimbus, Nimbus:	1000—4000 m
Stratus:	500—1000 m.

Im Sommer und in wärmeren Gegenden ist ihre Höhe größer, im Winter und in kälteren Gegenden geringer. Sehr rasch wächst die Geschwindigkeit der Wolken mit ihrer zu-

nehmenden Höhe. Nach Fergusson und Clayton beträgt dieselbe in den verschiedenen Höhen:

Höhe:	200 bis 1000	1000 bis 3000	3000 bis 5000	5000 bis 7000	7000 bis 9000	9000 bis 11 000	
im Sommer:	7·5	8·2	10·6	19·1	23·5	31·1	Meter pro Sek.
im Winter:	8·8	14·7	21·6	49·3	54·0	—	

§ 41. Verteilung der Bewölkung.

Die Verteilung der Bewölkung steht in innigem Zusammenhang mit der allgemeinen Zirkulation. Teisserenc de Bort, welcher durch Verbindung aller Punkte mit gleicher Bewölkung, „Isonephen", Bewölkungskarten für die Erde entworfen hat, konnte damit nachweisen, daß überall, wo die Luft eine aufsteigende Bewegung hat, die Bewölkung größer ist, geringer, wo die Luft im Absteigen begriffen ist. Absteigende Luft wird wärmer und damit trockener, Wolken in ihr müssen somit verdampfen und sich allmählich auflösen.

Wir haben somit einen Gürtel großer Bewölkung um den Aequator, woran sich zwei Zonen geringer Bewölkung in den sogenannten Roßbreiten (etwa 35° Br.) anschließen. In den höheren Breiten wächst die Bewölkung wieder.

Da die oberen Teile der Wolken, die von der Sonne beschienen werden, einen großen Teil des Lichtes reflektieren, so würde die Erde, von außen gesehen, gestreift erscheinen, wie manche Planeten. Wo viele Bewölkung ist, dort hätten wir lichte Streifen.

Teisserenc de Bort glaubt, aus den Flecken eines Planeten, die ja zweifellos von Kondensationsprodukten herrühren, auf die Zirkulation in der Atmosphäre desselben schließen zu dürfen. Wo wir darauf helle Flecken sehen, schließt er, dort

befinden sich kondensierte Dämpfe, dort ist die Atmosphäre sicher in aufsteigender Bewegung begriffen.

Niederschlag.

§ 42. Regenmesser.

Sobald die Kondensation so stark vor sich geht, daß die Tröpfchen, welche durch Ineinanderfließen oft bis zu großen Tropfen anschwellen können, oder die Eiskrystalle, welche sich gleichfalls häufig zu größeren Flocken aneinanderlegen, bei ihrem Falle nicht vollständig verdampfen, sondern den Erdboden erreichen, so tritt Niederschlag ein.

Zur Messung desselben bedient man sich des „Regenmessers" oder „Ombrometers", eines Auffanggefäßes von bestimmter Oberfläche. In den Einzelheiten weichen die verschiedenen Systeme von Regenmessern vielfach von einander ab. Der in Fig. 40 abgebildete Regenmesser besteht aus 2 Teilen. Der obere Teil, das Auffanggefäß A, besteht aus einem nach unten in eine Röhre auslaufenden Cylinder, der einen Querschnitt von z. B. $^1/_{20}$ m^2 besitzt. Der auf diese Fläche entfallende Regen fließt durch die Röhre r in den zweiten Teil, das Sammelgefäß S, in welches man übrigens zur Erleichterung des Herausgießens meist noch eine Kanne K hineinstellt. Der Aufsatz A hat vorzugsweise den Zweck, das im Sammelgefäß S oder in der Kanne K gesammelte Wasser von der äußeren Luft abzuschließen und so vor Verdunstung zu bewahren.

Fig. 40. Regenmesser.

Im Winter nimmt man den Aufsatz A und die Kanne K

weg und verwendet allein den unteren Teil, den etwa $^3/_4$ m hohen Sammelcylinder, als Schneemesser.

Man mißt nun den Niederschlag in Millimetern, d. h. man giebt an, wie viel mm hoch das Wasser über einer Fläche stünde, wenn nichts versickern und nichts verdunsten würde. Das Meßglas, in welches man den aufgefangenen Niederschlag aus der Kanne zum Zweck der Messung zu gießen hat, ist so eingerichtet, daß es die Millimeterzahl an einer im Glase eingeritzten Skala direkt abzulesen gestattet. Da auf 1 m², wenn das Wasser 1 mm hoch steht, offenbar eine Million Kubikmillimeter, d. i. 1 Kilogramm oder 1 Liter Wasser entfallen, so wird 1 mm Niederschlag auf eine Fläche von $^1/_{20}$ m² offenbar 0·05 Liter ergeben; d. h. wenn z. B. im Meßglas $^1/_2$ Liter enthalten ist, so muß das Wasser bis zum Teilstrich 10 reichen, also 10 mm angeben.

Bei anderer Auffangfläche ist selbstverständlich auch ein anderes Meßglaß nötig. Für $^1/_{10}$ m² Auffangfläche ergiebt 1 mm Regen 0·1 Liter, d. h. $^1/_2$ Liter Wasser fällt auf diese Fläche schon bei 5 mm Niederschlagshöhe; wenn das Meßglas $^1/_2$ Liter enthält, muß somit das Wasser bis zum Teilstrich 5 reichen.

Fällt der Niederschlag in Form von Eis, so muß dasselbe vor der Messung geschmolzen werden.

§ 43. Arten des Niederschlags.

Man unterscheidet mehrere Arten von Niederschlag: Regen (●), wenn er in Tropfen, Schnee (✳), wenn er in Eiskrystallen, Hagel (▲) und Graupeln (△), wenn er in nichtkrystallinischen Eisklümpchen fällt.

Als die ursprünglichen Formen sind der Regen und Schnee anzusehen. Der letztere zeigt eine große Mannig-

faltigkeit der Formen. Einzelne Flocken weisen nach mikrophotographischen Aufnahmen von Sigson oft eine ganz wunderbare, geradezu künstlerische Gestaltung auf.[1]) (Fig. 41.)

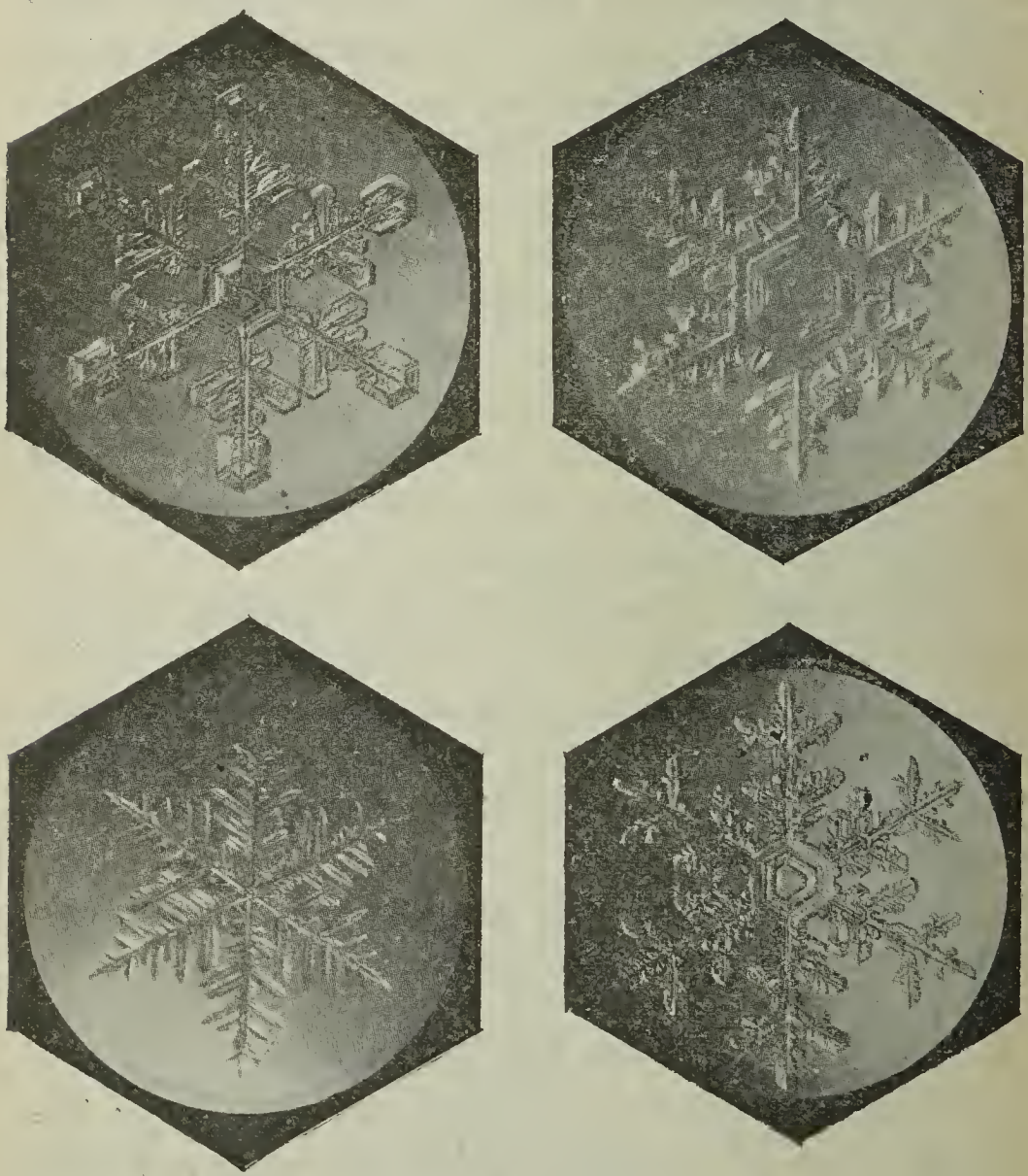


Fig. 41. Schneeflocken.

[1]) In Fig. 41 geben wir eine Reproduktion einiger von Hellmann publizierten Proben der Sigsonschen Aufnahmen, die wir der Güte des Herrn Professor Hellmann verdanken.

Vielfach werden Regentropfen bei ihrem Falle zur Erdoberfläche kältere Luftschichten zu durchfallen haben und dabei erstarren, oder es werden sich einzelne Schneeflocken und Nebeltröpfchen zu Eisklümpchen zusammenballen. Dies ist wohl die Entstehung der Graupeln. Von diesen letzteren unterscheidet sich der Hagel (Fig 42) dadurch, daß bei ihm klare feste Eisschichten meist in konzentrischen Hüllen um einen schneeigen Kern vorkommen, und daß die Hagelkörner viel beträchtlichere Dimensionen erreichen. Man hat schon Hagelkörner von mehr als 1 Kilogramm Gewicht gefunden.

Fig. 42. Hagelkörner.

In Bezug auf die Entstehung des Hagels sind die Ansichten noch nicht geklärt. Sicher ist, daß hier, wie bei jedem heftigen Regen, eine sehr plötzliche und intensive Kondensation, also ein rasches Aufsteigen von feuchter Luft eintritt. Woher nun die beträchtliche Abkühlung, die in der Hagelwolke vorgeht, und das lange Schweben der Hagelkörner, die ja immer neue und neue Eisschichten ansetzen?

Nach Volta's Hageltheorie, die neuerdings von Marangoni in wesentlichen Punkten verbessert worden ist, rührt die große Abkühlung von der teilweisen Wiederverdampfung der gebildeten Tropfen her; die Ursache dieser Wiederverdampfung haben wir aber in der großen Bewegung zu suchen, die in den Hagelwolken herrscht. Da nun aber zur Verdampfung von 1 Kilogramm Wasser so viel Wärme verbraucht wird, wie um $7^1/_2$ kg Wasser in Eis zu verwandeln, so brauchen wir uns über die Bildung von beträchtlichen Eismassen selbst in verhältnismäßig niedrigen Luft-

schichten, wo die Lufttemperatur mehrere Grade über Null sein kann, nicht zu wundern.

Zur Erklärung des langen Verweilens der Hagelkörner in der Höhe hat Volta die Elektricität zu Hilfe genommen. Aus dem Umstande, daß oft klare Eisschichten und schneeige Schichten mit einander abwechseln, darf man schließen, daß die Hagelkörner zwischen zwei entgegengesetzt elektrischen Wolken, einer Wolke aus Regentropfen und einer solchen aus Schneekrystallen, hin- und hergeworfen werden. Daß thatsächlich große elektrische Spannungsunterschiede in den einzelnen Teilen der Hagelwolken vorkommen müssen, das geht daraus hervor, daß bei Hagelwettern oft ununterbrochen Flächenblitze beobachtet werden. Flächenblitze sind aber solche, welche nicht von der Wolke zur Erde, sondern innerhalb der Wolken zwischen einzelnen Teilen überspringen.

Welch' enorme Eismassen übrigens ein Hagelwetter zu liefern vermag, das zeigte das Hagelwetter vom 7. Juni 1894, welches sich in den ersten Frühstunden dieses Tages über Wien entlud. Im Centrum der Stadt fielen 43·5 mm Niederschlag, meist in Form von Hagelkörnern, d. h. beinahe 1 Centner pro Quadratmeter! Wien glich nach diesem Wetter einer bombardierten Stadt; über eine Million Fenstertafeln waren in wenigen Minuten zerschlagen worden, die Bäume ihres Laubschmuckes beraubt, und noch in den späten Abendstunden lagen Eishaufen in den Straßen der Stadt, über welche man nicht hinwegsehen konnte.

Nicht unerwähnt dürfen wir lassen, daß man auch auf künstlichem Wege in den Verlauf des Wetters einzugreifen versucht hat. Vor einigen Jahren haben die Versuche in Texas, durch Explosionen künstliche Regen hervorzurufen, viel von sich reden gemacht. Strenge, verläßliche Messungen

des Niederschlags, den man dabei angeblich erzielt hat, sowie Beobachtungen der anderen meteorologischen Elemente sind übrigens dabei meistens nicht angestellt worden, und man wird deshalb diesen Berichten mit einem gewissen Mißtrauen begegnen. Als unmöglich dürfte es aber nicht zu bezeichnen sein, auf künstlichem Wege Niederschlag hervorzubringen; nur wäre dazu unerläßlich, alle Einzelheiten des Vorganges bei der Kondensation und Regenbildung kennen zu lernen. Wahrscheinlich spielt bei dem Zusammenfließen der kleinsten Nebeltröpfchen zu größeren Tropfen auch die Elektricität eine Rolle. So hat man denn auch dadurch Regen zu erzeugen versucht, daß man den Wolken Elektricität entzog, angeblich mit Erfolg.

§ 44. Verteilung und periodische Aenderung des Niederschlags.

Während wir bei allen bisher behandelten meteorologischen Elementen auf wesentliche Unterschiede nur dann gestoßen sind, wenn wir größere Teile der Erdoberfläche in Betracht zogen, zeigt der Niederschlag schon auf kleineren Gebieten große Unterschiede.

Der Berliner Zweigverein der deutschen Meteorologischen Gesellschaft hat ein eigenes Versuchsfeld eingerichtet, um über die Genauigkeit der Regenmessungen Aufschluß zu erhalten; und hier bestätigte es sich, daß selbst bei Regenmessern, die nicht sehr weit von einander entfernt sind, die Ergebnisse der Messungen sehr weit auseinandergehen. Wenn wir z. B. die jährliche Niederschlagsmenge von Charlottenburg = 100 setzen, so ergab Plötzensee 99·0, Martiniquefeld 91·8, Botanischer Garten 89·7 und Steglitz 88·4. Die Differenzen sind sehr groß, je nach dem größeren oder geringeren Windschutz, in welchem der Regenmesser aufgestellt ist. Auch *zeitlich* ist der Niederschlag sehr ungleich: an manchen Orten fallen

an einem Tage oft Regenmengen, welche andere Stationen nicht in einem Jahre aufweisen. So fielen z. B. in Cherapunjie in Bengalen am 14. Juni 1876 binnen 24 Stunden 1036 mm, ja vom 12.—15. Juni d. i. in 4 Tagen 2591 mm, beinahe 26 Hektoliter pro Quadratmeter! Große Regenmassen fielen auch vor der 1893 in Queensland eingetretenen Ueberschwemmung. Da fielen vom 31. Januar bis zum 3. Februar auf einer Station 1903 mm, in 12 Tagen 2670 mm.

Auch unsere Gegenden haben hie und da ähnliche Wolkenbrüche aufzuweisen. So hatte Fiume am 30. Sept. 1892 in $8^1/_2$ Stunden 208 mm, d. i. pro Stunde 24.5 mm; in 48 Stunden fielen dort 515 mm.

Auch in Schlesien fielen während des Wolkenbruches vom 2./3. Aug. 1888 in 15 bis 18 Stunden Regenmengen bis zu 260 mm. Auf das Quellgebiet des Queis allein kamen rund 10000 Millionen Liter Wasser. Im Mittel beträgt der Niederschlag für Deutschland etwa 660 mm pro Jahr.

Auch in der Jahressumme giebt es ganz beträchtliche Abweichungen: einem Niederschlag in Bishop Creek (in Kalifornien) von 33 mm pro Jahr steht im Küstengebiet von Brasilien ein solcher von 3612 mm gegenüber; Ostbengalen und Assam weisen 3689 mm, Konkan und Ghats 3342 mm und Arakan gar 4386 mm auf. Selbst in Europa kommen solche Jahressummen vor; Crkvice in Dalmatien z. B. hat einen jährlichen Niederschlag von 4240 mm. Die größte beobachtete Jahressumme fällt auf das schon erwähnte Cherapunjie: 14800 mm nach einem zehnjährigen Mittel!

Maßgebend für die Verteilung ist vor allem die Meeresnähe, welche naturgemäß den Niederschlag verstärkt, ferner alle Ursachen einer aufsteigenden Bewegung, durch welche Kondensation herbeigeführt wird. Wir sehen deshalb einen sehr regen-

reichen Gürtel in der Calmenzone sich um die Erde schlingen weil dort die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen ist. Auch dort findet sich reichlicher Niederschlag, wo sich oft Depressionen mit ihrer gleichfalls aufsteigenden Luftbewegung einstellen, endlich an der Luvseite der Gebirge, wo die Luft gleichfalls zum Emporsteigen gezwungen wird. Im allgemeinen wächst an der Luvseite der Gebirge der Niederschlag bis zu einer gewissen mittleren Höhe und nimmt dann wieder bis zum Kamme ab. Auf der Leeseite, wo die Luft herabsinkt, zeigt sich Föhnbildung und damit ein wesentlich geringerer Niederschlag. Loomis führt als ein lehrreiches Beispiel hierfür die pacifische Küste von Nordamerika an. Wir lassen hier die Jahressummen der dortigen Niederschlagsmengen folgen:

	Luvseite					Leeseite		
Station:	Sakramento	Auburn	Colfax	Cisko	Gipfel	Truckee	Carson-City	Winnemucca
Seehöhe in m	11	415	738	800	2139	1774	1411	1328
Niederschl. in mm	520	840	1150	1460	1220	750	300	220.

Hill hat aus den Beobachtungen der Stationen am Himalaya den Nachweis erbracht, daß die Höhe, bis zu welcher an der Luvseite der Niederschlag zunimmt, zusammenfällt mit jener Höhe, wo in der aufsteigenden Luft die Kondensation beginnt. Auf tieferliegende Stationen entfällt weniger, weil während des Falls ein Teil der Tropfen verdampft, auf höherliegende gleichfalls weniger, weil ein Teil der regnenden Wolke schon darunter liegt.

Dabei kommt übrigens auch die Neigung des Bergrückens in Betracht, welchen die Luft zu überschreiten hat; Riggenbach hat sogar eine bestimmte Beziehung zwischen Regenmenge und Böschungswinkel gefunden. Bei 45° Böschung steigt die Niederschlagsmenge auf das doppelte vom ebenen Terrain.

§ 45. Tau und Reif.

Wir haben bisher nur jenen Niederschlag betrachtet, der sich in der Luft selbst kondensiert und aus dieser zur Erde herabfällt. Es tritt aber auch an der Erdoberfläche und an darauf befindlichen Gegenständen, insbesondere an den Pflanzen, Kondensation ein: je nach der Temperatur in flüssiger Form als Tau oder in kristallinischer, schneeartiger Struktur als Reif.

Tau und Reif treten immer und überall ein, wenn, z. B. in klaren Nächten, die auf der Erdoberfläche befindlichen Körper durch Ausstrahlung sich so stark abkühlen, daß ihre Temperatur bis zum „Taupunkte" (vgl. § 34) der sie umgebenden Luft sinkt.

Dies ist die Theorie der Taubildung von Wells. Dieser letztere nimmt auch an, der im Tau niedergeschlagene Wasserdampf stamme allein aus der Luft. Dem gegenüber hat Aitken auf die Erscheinung hingewiesen, daß Steine bei Taubildung nicht oben, sondern an ihrer Unterseite naß seien, daß also der Wasserdampf aus dem Boden stamme. Durch Versuche von Wollny und Russell ist nun erwiesen worden, daß wirklich der Tau in erster Linie von der Bodenfeuchtigkeit herrührt. Insbesondere sind es die Pflanzen, welche während der Nacht Wasser aus dem Boden aufnehmen und durch Transpiration an die benachbarten Luftschichten abgeben. Dieser Dampf scheidet sich bei Abkühlung der Pflanzen durch Ausstrahlung an ihnen als Tau oder Reif wieder aus. Russell hat gezeigt, daß über dem Erdboden, namentlich über bewachsenem Boden, im Innern von umgestülpten Gefässen sich reichlich Tau ausscheide. Hier kann die Feuchtigkeit nicht aus der Luft stammen, und es bleibt auch die Taubildung aus, sobald man die Gefäße über Metallplatten stülpt.

Houdaille hat die Taubildung fortgesetzt gemessen. Im

Juli ist dieselbe am geringsten = 0·19 mm, im November am größten, beträgt jedoch nur 1·24 mm. Im ganzen Jahr wird sie sich auf 6 bis 7 mm belaufen; das ist nur 1% der Regenmenge.

Viel ausgiebiger ist vielfach der Reif, welcher sich als „Rauhreif" oft in dicken Klumpen an die Bäume ansetzt. Bührer bemerkte in einem Falle einen Ansatz von Eiskrystallen, welcher einem Niederschlag von 4·8 mm entsprach; der Verfasser fand an einem niedrigen Tannenbaum und an einem etwa 2 m hohen Strauch je 3·5 mm. Da der Rauhreif sehr reich an Stickstoff ist (in Ammoniak), offenbar wegen der großen Absorptionsfläche, die er der umspülenden Luft darbietet, so ist er im Pflanzenleben gewiß von nicht geringer Bedeutung.

Luft-Elektricität.

§ 46. Begriff der Luft-Elektricität.

Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde fast gleichzeitig in Europa und in Amerika, im ersteren von De Romas und Abbé Mazeas, im letzteren durch Benjamin Franklin der Versuch gemacht, aus einer Gewitterwolke mit Hilfe eines Drachen, der mit einer Spitze und einer die Elektricität leitenden Schnur versehen war, Elektricität herabzuholen und so direkt den Nachweis zu erbringen, daß die im Blitze sich äußernde Kraft in der That Elektricität sei. Diese Versuche gelangen vollkommen und führten zu der Idee, durch Blitzableiter sich vor den Gefahren des Gewitters zu schützen.

Weiter wurde in Europa, und zwar durch Le Monnier, die wichtige Entdeckung gemacht, daß auch bei wolkenlosem Himmel Elektricität aus der Luft gezogen werden könne; und er stellte schon regelmäßige Beobachtungen dieser Erscheinung an.

Ist nun wirklich in der Atmosphäre beständig Elektricität aufgehäuft, derart, daß man dieselbe durch Spitzen auffangen und zur Erde leiten kann? Diese Annahme ist durchaus nicht nötig. Bekanntlich wird jeder Metallkörper in einem Raume, in welchem sich elektrische Massen befinden (d. h. in einem „elektrischen Feld") durch „Influenz" elektrisch, d. h. es scheidet sich in ihm die positive und die negative Elektricität von einander ab und sammelt sich an den entgegengesetzten Seiten des Körpers. Hat gar ein solcher Körper an der einen Seite eine Spitze, dann kann aus ihr die Elektricität der einen Art ausströmen, und der Körper hat dann nur noch die Elektricität der anderen Art.

Ermann und Peltier haben nun bewiesen, daß wir es in der That mit diesem Vorgange zu thun haben, wenn wir durch einen Drachen oder eine mit einer Spitze versehene lange Metallstange scheinbar Elektricität aus der Luft herausziehen. Denn in Wahrheit braucht zu diesem Zweck in der Luft selbst gar keine Elektricität vorhanden zu sein; aber ein elektrisches Feld ist sicher vorhanden. Dann aber lautet unsere Frage: welche Aenderungen beobachten wir in diesem Felde? Wo befinden sich die elektrischen Massen, die dieses Feld erzeugen? Sitzen sie auf der Erdoberfläche, auf der Sonne oder einem anderen Himmelskörper? Oder sind sie in der Atmosphäre selbst vorhanden?

Diese Fragen lassen sich nur durch systematische Beobachtungen beantworten. Dazu bedarf es vor allem eines handlichen Instruments; dann aber müssen wir zuerst die unge-

störte Erscheinung bei schönem Wetter studieren. Wir dürfen auch nicht an Häusern oder auf Berggipfeln beobachten oder müssen, wenn wir dies thun, die dort gewonnenen Ergebnisse auf die Ebene reduzieren.

Diese grundlegenden Forderungen hat zuerst Franz Exner aufgestellt und erfüllt. Mit seinem Elektroskop wurden fast alle verwendbaren Messungen angestellt. Dieses Instrument besteht aus zwei in einer Hülse H (Fig. 43) isoliert angebrachten Aluminium-Blättchen a und a', welche um einen bestimmten Winkel ausschlagen, sobald sie elektrisch geladen sind. Will man nun das elektrische Feld rings um die Erde erforschen, so braucht man nur eine Spitze oder besser eine Flamme F in bekannter Entfernung von der Erdoberfläche isoliert aufzustellen und durch einen gutleitenden Draht, immer isoliert, mit den beiden Aluminiumplättchen zu verbinden, wobei die Metall-Hülse H zur Erde abgeleitet sein muß.

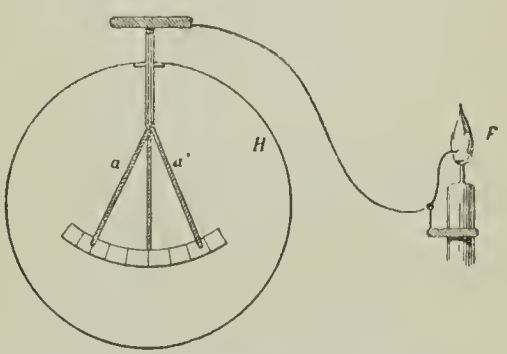


Fig. 43. Exner's Elektrograph.

Je nach dem Ausschlag der beiden Plättchen erhält man so das „Potentialgefälle" pro Meter. Dieses ist die Kraft, mit welcher eine positiv-elektrische Masse bewegt würde, wenn sie an den betreffenden Ort gebracht würde. Finden wir nun auf der Erdoberfläche nach oben ein positives Potentialgefälle, so ist die Kraft eine abstoßende, bei negativem eine anziehende, d. h. zum Erdmittelpunkt gerichtete.

Wir messen das Potentialgefälle in Volt, einer Einheit, welche 0·89 Teile jener Kraft bedeutet, die in einem Daniell-schen Element (Kupfer-Zink) wirksam ist.

§ 47. Beobachtungsthatsachen.

Nach Erörterung dieser Vorbegriffe können wir nun zu den Ergebnissen der hauptsächlich von Exner angestellten Messungen schreiten. Es ergab sich aus ihnen, daß bei schönem Wetter überall das Potentialgefälle ein negatives ist, d. h. daß die Kraft, welche auf eine positiv-elektrische Masse ausgeübt wird, eine zur Erdoberfläche gerichtete ist. Es scheint, daß man das mittlere Potentialgefälle auf etwa 130 Volt-Meter veranschlagen darf, daß also eine sehr beträchtliche negative Elektricitätsmenge auf der Erdoberfläche sitzt.

Das Potentialgefälle zeigt aber eine deutlich ausgesprochene Abhängigkeit von der Breite. Während Elster und Geitel in Wolfenbüttel im Jahresmittel 220 Volt-Meter erhielten, fand Exner in Ceylon nur etwa 58 Volt.

Die Beobachtungen ergeben weiter einen allerdings sehr geringen täglichen Gang und einen ziemlich ausgesprochenen jährlichen Gang des Potentialgefälles. In Wolfenbüttel z. B. schwankt dasselbe von einem Minimum 102 im Juni bis zu einem Maximum 470 im Dezember.

Woher kommen diese *Verschiedenheiten nach der Oertlichkeit*, und woher die *Aenderungen im Laufe der Zeit*? Da die Erde als guter Leiter zu betrachten ist, würden wir, da sich auf einer geladenen Kugel überall dieselbe elektrische Dichte herstellt, auch überall dieselbe Kraft erwarten. Da dies nicht der Fall ist, so müssen auch außerhalb der Erde noch elektrische Massen wirksam sein, die influenzierend auf die Erde wirken und deshalb auf derselben eine ungleiche und wechselnde Dichte hervorrufen. Wo sitzen dieselben? Das ist die Frage, die nun vor allem auftaucht. Es liegt nahe, zur Erklärung des täglichen und des jährlichen

Ganges eine elektrische Ladung der Sonne anzunehmen; doch würden sich dann Widersprüche mit den Beobachtungen herausstellen. Wir werden also die außerhalb der Erdoberfläche befindlichen elektrischen Massen nur in unserer Atmosphäre suchen dürfen.

Man hat angenommen, daß von dem Wasserdampf ein Teil der Ladung der Erde in die Atmosphäre mitgeführt werde, denn Exner fand, daß das Potentialgefälle ganz regelmäßig mit dem zunehmenden Dampfdrucke kleiner werde.

Dampfdruck:	1·7	3·4	6·3	12·4	17·5	23·5
Pot.-Gefälle:	432	323	191	82	66	51.

Ein Gutteil des jährlichen Ganges und die Abnahme des Potentialgefälles gegen den Aequator kommt somit gewiß auf Rechnung der Verschiedenheit des Dampfgehaltes der Luft. Bei der Annahme, daß ein Teil der negativen Elektricität von der Erde bei der Verdampfung des Wassers mitgeführt werde, findet diese Erscheinung auch ihre ungezwungene Erklärung.

Sonderbarerweise ist nun durch Beobachtungen von Elster und Geitel festgestellt worden, daß auch eine Abhängigkeit des Potentialgefälles von einer anderen Größe besteht, nämlich die von der Intensität der ultravioletten Strahlung.

Ultrav.-Str.:	2·9	5·8	21·4	77·1	121·9	268·4
Pot.-Gef.:	445	430	325	181	126	106.

Da nun der Staub die ultravioletten Strahlen sehr stark zurückhält, also starke ultraviolette Strahlung auf geringen Staubgehalt der Luft schließen läßt, da ferner Staub die Tröpfchenbildung begünstigt und bei hohem Dampfgehalt und heiterem, wolkenlosem Wetter (und nur bei solchem werden ja diese Messungen gemacht) der Staubgehalt nur gering sein kann, so müssen offenbar — und Elster und Geitel bestätigen das durch die Beobachtung — ultraviolette Strahlung und

Dampfdruck nahezu mit einander parallel gehen. Dann ist es aber möglich, daß die Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Wasserdampf nur eine scheinbare ist, und das Potentialgefälle in Wirklichkeit von den ultravioletten Strahlen abhängt und kleiner wird, wenn die Intensität dieser letzteren wächst.

Wäre eine solche Annahme möglich? Sehr wohl, denn es ist erwiesen, daß manche negativ elektrisch geladene Körper, wenn sie von ultravioletten Strahlen oder auch vom bloßen Sonnenlichte getroffen werden, ihre Ladung teilweise abgeben, und, da die Erdoberfläche auch solche Substanzen enthält, ist es sogar sicher, daß auch sie einen Teil ihrer Ladung, wenn sie bestrahlt wird, an die Atmosphäre abgiebt. Vielleicht könnten dann die Luftteilchen selbst zu Trägern dieser negativen Elektricität werden.

Sicher ist, daß der Sitz jener elektrischen Massen, durch welche die fortwährenden Schwankungen des Potentialgefälles hervorgebracht werden, in den unteren Schichten der Atmosphäre zu suchen ist, denn auf dem Sonnblick z. B. ist der jährliche Gang so gut wie verschwunden: die Massen, welche ihn hervorbringen, müssen also unterhalb dieser Höhe liegen.

Es wäre allerdings möglich, daß die Luft in den oberen Schichten noch eine elektrische Ladung besäße, aber diese Ladung müßte dann jahraus jahrein eine unveränderliche sein. Nach Ballon-Beobachtungen zu schließen, wird das Potentialgefälle, je höher man steigt, immer kleiner, ja es scheint in den höchsten Schichten bis auf Null herabzugehen. Es würde hieraus folgen, daß in der That eine konstante positive Ladung der Luft auch in den höheren Schichten vorhanden ist, derart, daß genau so viel positive Elektricität sich in der Atmosphäre befinden würde, als negative auf der Erdoberfläche vorhanden ist.

Gewiß ist jedenfalls die negative Ladung der Erde,

wahrscheinlich eine gleich große positive Ladung der Atmosphäre. Zweifellos ist ferner, daß eine bestimmte Menge negativer Elektricität einen fortwährenden Kreislauf macht, von der Erdoberfläche in die Atmosphäre aufsteigt und von dort vermutlich durch die Niederschläge zur Erde wieder zurückgelangt. Ihr verdanken wir den Wechsel im elektrischen Zustande der Atmosphäre. Ob diese auf dem Wasserdampf ihren Sitz hat, ist aber noch zweifelhaft.

§ 48. Gewitterelektricität. Blitz und Elmsfeuer.

Sobald sich Wolken zeigen, ist das normale Potentialgefälle bedeutend gestört; beim Nahen von Gewitterwolken steigt dasselbe nach Exner bis auf — 8000 Volt/m und höher. In den Wolken sind also große Elektricitätsmengen aufgespeichert. Dies ist sehr einleuchtend: denken wir uns, es fließen z. B. 1000 elektrisch geladene Tröpfchen in Einen zusammen, so ist die Oberfläche dieses neuen Tropfens nur 100mal größer als die eines der kleinen Tröpfchen; nun befindet sich auf einer nur 100mal größeren Oberfläche jetzt eine 1000fache Ladung, d. h. die elektrische Dichte der Ladung ist nun 10mal so groß.

So kann durch Zusammenfließen kleinerer Tropfen zu größeren die Spannung sehr rasch wachsen; ist die letztere aber genügend groß, so kann die Elektricität den Widerstand der Luft überwinden und überspringen. Es entsteht der Blitz; und in seiner Begleitung tritt das mit der Entladung verbundene Geräusch, der Donner, ein. Geht die Entladung zur Erde hin, so entsteht der „Zickzackblitz"; findet sie zwischen den Wolken statt, so sehen wir nur einen hellen Schein, den Flächenblitz, ähnlich dem Wetterleuchten, dem Widerschein von Blitzen entfernterer Gewitter. Die Kugelblitze, Feuerbälle,

die oft mit geringer Geschwindigkeit, scheinbar regellos über der Erde dahinziehen, scheinen verzögerte Entladungen zu sein.

Zwischen dem Niederschlag und der Elektricität beim Gewitter besteht hiernach kein engerer Zusammenhang. Der heftige Gewitterregen ist eine Erscheinung für sich und findet seine Erklärung in der plötzlich auftretenden reichlichen Kondensation; der Blitz ist nur eine Begleiterscheinung, hervorgebracht durch das Zusammenfließen der kleinsten Tröpfchen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß dem Gewitterregen eine plötzliche Störung des Gleichgewichts der Atmosphäre, ein rasches Aufsteigen der dampfreichen, erwärmten Luft zu Grunde liegt. Darum treten die Gewitter am häufigsten zur warmen Tages- und Jahreszeit auf, teils lokal, teils ziehen sie in schmalen Bändern, mit der Breitseite voran, west-östlich oft über ganz Europa dahin, vielfach mit einer Geschwindigkeit von 100 und mehr km in der Stunde und begleitet von einem plötzlichen Auf- und Absteigen des Barometers, den „Gewitternasen", so genannt nach der Form, die ein Barogramm um diese Zeit erkennen läßt.

Ein anderer Ausgleich der Elektricität zwischen Wolke und Erde geht am schönsten und intensivsten auf Bergspitzen vor sich, die unmittelbar in die Wolken eintauchen: im St. Elmsfeuer. Auf dem Sonnblick hat man diese Erscheinung vielfach studiert. Besonders nach Gewittern beobachtete man bläuliche, helleuchtende Flämmchen, die sich unter summendem Geräusch am Blitzableiter, an Hausecken, ja am Menschen zeigen.

Entfernt man sich nur ein wenig vom Hause, so bilden sich oft 5 cm lange Feuerbüschel an den Fingern der ausgestreckten Hand, an den Schnurrbartspitzen, an den Fasern des Lodenhuts, kurz überall, wo eine Spitze vorhanden ist.

Bei dieser zauberhaften Erscheinung geht gleichfalls ein

Ausströmen der Elektricität vor sich, nur in verschiedener Weise, je nachdem die ausströmende Elektricität positiv oder negativ ist. Obermayer wies experimentell nach, daß, wenn die Büschel lang sind und auf rötlichen Stielen aufsitzen (Fig. 44 a), die Elektricität positiv ist, bei kleinen Büscheln, die Blütenkelchen gleichen (Fig. 44 b), dagegen negativ. Im Winter überwiegt nach den Beobachtungen P. Lechners auf dem Sonnblick das negative, im Sommer das positive Elmsfeuer. Verfasser, der zahlreiche Elmsfeuer auf dem Sonnblick zu sehen Gelegenheit hatte, nahm wahr, daß die Blitze bei positivem Elmsfeuer rot, bei negativem blau waren. P. Lechners Beobachtungen bestätigen diese Wahrnehmung.

Fig. 44. Elmsfeuer a. positiv, b. negativ

Was die Blitzschläge betrifft, so fügen wir die tröstliche Mitteilung bei, daß nach der Statistik der Blitzschläge in Belgien auf 470000 Menschen jährlich nur 1 Todesfall durch Blitzschlag zu rechnen ist.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

§ 49. Tageslicht, blaue Farbe des Himmels, Dämmerung.

In § 12 haben wir erfahren, daß die Sonnenstrahlung, welche in der Atmosphäre scheinbar verloren geht, durch diffuse Reflexion nach allen Seiten zerstreut wird und uns den Himmel hell erscheinen läßt. Ferner wissen wir, daß insbesondere die kurzwelligen, die blauen und violetten Strahlen der diffusen Reflexion unterworfen sind; deshalb muß unter den Strahlen, welche uns vom Himmel reflektiert werden, das Blau überwiegen.

Lord Rayleigh war der erste, welcher auf diese Ursache

der blauen Farbe des Himmels hinwies; Euler hatte gemeint, die Luft sei an sich blau. Wäre letztere Ansicht richtig, so müßten Sonne und Mond uns ebenso blau erscheinen, wie wenn wir sie durch ein blaues Glas betrachteten.

Wie alles diffus reflektierte Licht, so zeigt sich auch das Himmelslicht polarisiert, und nur zwei Punkte in der Nähe der Sonne, einer etwa 20° oberhalb (der Babinetsche), einer 20° unterhalb (der Brewsterſche) und endlich ein dritter (der Aragosche) 20° oberhalb des Gegenpunktes der Sonne sind neutral. Die Untersuchung dieser neutralen Punkte ist von großer Wichtigkeit.

Auch wenn sich die Sonne noch nicht über den Horizont erhoben hat oder schon untergegangen ist, werden die Strahlen die oberen Atmosphärenschichten treffen, und so werden wir, so lange die Sonne nicht mehr als 16° unter dem Horizont steht, den Himmel in der Nähe der auf- oder untergehenden Sonne noch erleuchtet sehen.[1]) Das ist das Phänomen der Dämmerung.

Je steiler die Sonnenbahn gegen den Horizont geneigt ist, um so kürzer währt die Dämmerung; am längsten dauert deshalb die Dämmerung in den höheren Breiten. Während am Aequator die Nacht durch dieselbe um $2^3/_4$ Stunden verkürzt wird, beträgt diese Verkürzung im Winter unter dem 70. Breitenkreis 10 bis 11 Stunden.

Die optischen Erscheinungen, welche die Dämmerung charakterisieren, beginnen übrigens schon, wenn sich die Sonne bis auf 4 oder 5° dem Horizont genähert hat. Battelli, der in Cagliari regelmäßige Beobachtungen über die Dämmerung angestellt hat, unterscheidet dabei vier Phasen

[1]) Es ist die „astronomische Dämmerung." Sie hört auf, sobald die Sterne 6. Größe erscheinen.

der Abenddämmerung. Die erste Phase wird charakterisiert durch das Auftreten eines glänzenden, weißen Hofes um die Sonne, während gleichzeitig eine gelbliche Färbung am Horizont eintritt. Sobald die Sonne den Horizont berührt, beginnt die zweite Phase: der untere Teil der gelben Färbung geht ins rötliche über, der obere färbt sich schön orange. Etwa 20 Minuten nach Sonnenuntergang haben wir die dritte Phase: das „erste Purpurlicht," eine kreisförmige purpur- bis rosarote Scheibe mit horizontaler Basis von etwa 30 bis 40° Breite.

Mit dem Verschwinden dieser Purpurfärbung im Westen beginnt dann die vierte Phase: der rötliche Grund im Westen nimmt zu, und die obere gelbliche Schichte wird immer goldiger. Ist die Sonne bis auf 7° unter den Horizont gesunken, dann beginnt manchmal noch das zweite Purpurlicht, das aber nie die Intensität des ersten erreicht.

Wir können das Auftreten dieser verschiedenen Farben nicht durch die bloße diffuse Reflexion erklären: die Ursache liegt teils in der Brechung, teils in der Beugung, welche Lichtstrahlen stets erleiden, sobald sie durch ein Medium hindurchgehen, in welchem kleine Körperchen, wie Tröpfchen, Eiskrystalle oder Staubteilchen, schweben.

§ 50. Ringe, Höfe, Neben-Sonnen und -Monde, Purpurlicht, Bishopscher Ring, leuchtende Wolken.

Die wichtigsten Erscheinungen, welche der Störung der Lichtstrahlen durch Tröpfchen und Eiskrystalle ihre Entstehung verdanken, sind die Höfe und Ringe. Man gebraucht diese beiden Ausdrücke vielfach für einander; wir wollen aber der Unterscheidung folgen, die Pernter giebt und die allein dem Sprachgebrauche der Physiker entspricht.

Bei einem Hofe (Halo) erscheint Sonne oder Mond inmitten eines bläulich-weißen Feldes, das stets deutlich rot gesäumt ist. An dieses Rot aber schließen sich die Farben des Regenbogens, ein blauer, grüner, blaßgelber und ein roter Ring, an. Bisweilen zeigt sich aber diese Farbenfolge noch ein zweites oder drittes Mal; oder ist schon die erste Folge vermischt, dann haben wir ein weißlich-blaues, rot-umsäumtes Feld vor uns.

Gerade umgekehrt ist die Reihenfolge der Farben bei den Ringen. Bei ihnen beginnt die Farbenfolge auch mit Rot, diesem aber folgt orange, gelb und grün, während blau den Ring nach außen abschließt.

Die Ringe sind aber auch meistens viel größer und zeigen ganz bestimmte Halbmesser von 22°, 45° oder 90°; Höfe haben meist nur Halbmesser von wenigen Graden.

Schon die umgekehrte Farbenfolge deutet auf den Unterschied in der Entstehung der Höfe und der Ringe. Die ersteren entstehen durch Beugung der Strahlen an den kleinen Tröpfchen, und Frauenhofer hat sogar künstlich durch Anbringung von durchsichtigen Kügelchen auf einer Glasplatte solche Höfe erzeugt. Karl Exner aber hat theoretisch gezeigt, daß in der That durch Tröpfchen solche Erscheinungen entstehen müssen, und gelehrt, wie man sogar aus dem Halbmesser der Höfe die Größe der Tröpfchen berechnen kann. Nach Kämtz' Messungen wäre ihr Durchmesser auf etwa 0·0215 mm zu veranschlagen. Sind die Tröpfchen aber von sehr verschiedener Größe, dann lagern sich die einzelnen Farbenringe übereinander, und wir werden allein den roten Saum zu sehen bekommen.

Die Ringe dagegen, welche ausnahmslos nur im Cirrusgewölke vorkommen, entstehen durch Brechung der

Strahlen in den Eiskryſtallen. Dies lehrt ſchon die Farbenfolge.

Fig. 45 ſtellt einen vollkommen ausgebildeten Sonnenring dar, wie er 1661 zu Danzig beobachtet worden iſt. Man kann an ihm drei Arten von Ringen unterſcheiden: ſolche, deren Mittelpunkt die Sonne iſt, ſolche, welche durch die Sonne gehen, und ſolche, welche gegen die Sonne konvex ſind. Dort aber, wo zwei Ringe ſich ſchneiden, entſtehen die Nebenſonnen bezw. Nebenmonde. Alle Einzelheiten dieſer Erſcheinungen laſſen ſich durch die Brechung der Strahlen in den in der Luft ſchwebenden kleinen ſechsſeitigen Eisprismen erklären, ebenſo die Größe der Radien und der weiße „Horizontalkreis," welcher durch die Sonne geht und den ganzen Himmel parallel zum Horizonte umſpannt. Er verdankt ſeine Entſtehung der Reflexion der Strahlen an den äußeren Flächen der Eiskryſtalle.

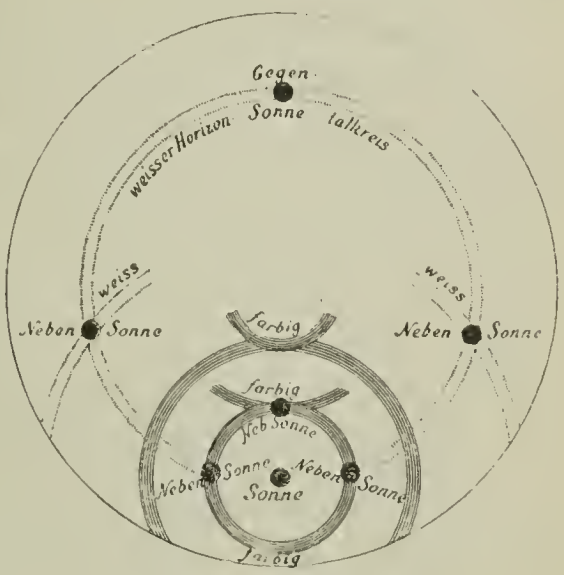


Fig. 45. Sonnenring.

Hellmann hat auch den jährlichen Gang der Ringe unterſucht und dabei gefunden, daß Sonnenringe am häufigſten im Mai, am ſeltenſten im Dezember ſind, während Mondringe am häufigſten im Februar, am ſeltenſten im Auguſt beobachtet werden. Für dieſen Gang iſt in erſter Linie die Tages- und Nachtlänge entſcheidend: je länger der Tag, je länger alſo die Sonne ſichtbar iſt, um ſo öfter wird man Ringe an ihr beobachten. Ebenſo maßgebend iſt die Häufig-

keit der Eiskrystalle: faßt man Sonnen- und Mondringe zusammen, so zeigt sich ein Maximum im Februar, ein Minimum im August.

Verwandt mit den Höfen ist das „erste Purpurlicht." Man hat diese Erscheinung besonders seit den abnormen Dämmerungserscheinungen des Jahres 1883 studiert, wie denn seither die atmosphärische Optik einen großen Aufschwung genommen hat. Die damaligen Erscheinungen zeichneten sich durch die außerordentliche Pracht des Abendrots, eben des Purpurlichtes, und das Auftreten des „Bishopschen Ringes" aus. Die Sonne erschien inmitten einer glänzendweißen Scheibe, welche in etwa 10° von dem Gestirn in einen 6 bis 8° breiten, rötlich-braunen Ring überging.

Diese abnormen Erscheinungen hat Lockyer auf den Ausbruch des Vulkans Krakatau in der Sundastraße zurückgeführt durch welchen eine ungeheure Masse von Staub im Zustande feinster Zerteilung bis in die höchsten Atmosphärenschichten emporgeschleudert worden seien. Der Bishopsche Ring wäre hiernach nichts anderes als ein gewöhnlicher Sonnenhof, hervorgebracht durch die feinen Staubteilchen, von denen nach Pernters Berechnung die größten einen Durchmesser von 0·00342 mm, die kleinsten von 0·00185 mm haben sollen.

Der unwiderlegliche Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme ist jedoch erst durch Kießling erbracht worden, welcher das gesamte Beobachtungsmaterial verarbeitet und gezeigt hat, daß in der That diese optische Störung vom Krakatau aus über die ganze Erde verbreitet worden ist.

Aber auch das Purpurlicht steht in engem Zusammenhang mit dem Bishopschen Ring. Nach Riggenbachs Messungen stimmen die Dimensionen beider genau überein; beide sind eine und dieselbe Erscheinung, und man hat somit

auch das erste Purpurlicht als eine Beugungserscheinung aufzufassen.

Während nun aber das Purpurlicht eine bleibende Erscheinung ist und schon vor und nach 1883, wenn auch weniger stark, beobachtet wurde, ist der Bishopsche Ring allmählich verblaßt und 1886 unsichtbar geworden. Er verschwand in dem Maße, als sich die Staubteilchen unter dem Einflusse der Schwere zu Boden senkten. Man vermochte auch wirklich die Höhe der Staubschichte aus der Dämmerung zu berechnen und hat dabei nachgewiesen, daß von August 1883 bis Januar 1884 sich die Schichte aus etwa 30000 m Höhe bis auf rund 16000 m Höhe, d. h. um etwa 14000 m gesenkt hat.

Trotzdem muß der Bishopsche Ring, wenn er mit dem Purpurlicht im Wesen identisch ist, auch dann, wenn er zu lichtschwach ist, um wahrgenommen werden zu können, nach Pernter doch fortwährend vorhanden sein. Es scheint, daß die „neutralen" Punkte mit ihm im Zusammenhang stehen, denn auch die Polarisation des Himmelslichtes war 1883 bis 1886 gestört; der Babinet' und Aragosche Punkt stand nach Messungen von Busch viel weiter von der Sonne ab, nahm aber von 1886 bis 1889 wieder regelmäßig (beim Babinet'schen Punkt von 23·9° bis 16·8°) ab. Ueberhaupt äußert sich nach Busch jede atmosphärisch-optische Störung sofort an dem Abstand der neutralen Punkte, und von 1891 an scheint eine schwache Erneuerung der Störung, verbunden mit abnormen Dämmerungserscheinungen, aufgetreten zu sein.

Auch die „leuchtenden Nachtwolken", leichte, cirrusartige bis tief in die Nacht hinein leuchtende Gebilde, welche man zuerst 1885 wahrgenommen hat, und von denen 1891 nur noch schwache Spuren zu sehen waren, hat man mit dem

Krakatau-Ausbruch in Verbindung gebracht. Jesse, der sie eingehend untersuchte, ist zu dem Schlusse gekommen, daß sich ihr spätes Leuchten durch ihre ungeheure Höhe erkläre, in welcher die Sonnenstrahlen sie noch zu treffen vermögen. Er ermittelte mit großer Sicherheit Höhen von 70 bis 80 Kilometern!

§ 51. Der Regenbogen.

Auch der Regenbogen verdankt seine Entstehung der Anwesenheit von Tröpfchen in der Atmosphäre. Er erscheint, sobald bei vollem Sonnenschein in einer der Sonne gegenüberliegenden Richtung Regentropfen fallen. Die Farbenfolge in seinem farbigen Band ist dieselbe wie die der Höfe: rot auswärts, violett nach innen.

Man erklärt seine Entstehung durch die Brechung der Sonnenstrahlen in den Regentropfen. Verfolgen wir einen Strahl S a (Fig. 46), so wird derselbe sofort bei seinem Eintritt in den Tropfen gebrochen und in seine farbigen Bestandteile zerlegt. An der Rückseite des Tropfens in b werden die Strahlen aber reflektiert und gelangen nach abermaliger Brechung beim Austritt in c in der Richtung c A in das Auge des Beobachters. Jedoch haben nur jene Strahlen, für welche die Brechung etwa 42° beträgt, die Eigenschaft, auch nach dem Austritt aus den Tropfen parallel zu verbleiben. Während also alle andern Strahlen nach allen Seiten zerstreut werden, treffen gerade diese konzentriert unser Auge, und wir werden deshalb jene Tropfen, welche auf einem Kreis von etwa 42° Halbmesser liegen, als den „Hauptregenbogen" erglänzen sehen. Da es

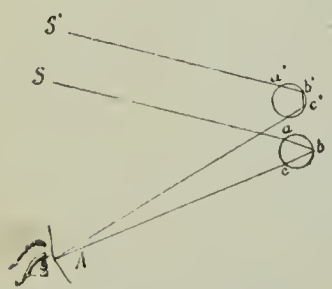


Fig. 46. Regenbogen.

aber auch Strahlen S'a' giebt, welche nach zweimaliger Reflexion in b' und c' in unser Auge gelangen, so erblicken wir häufig noch einen zweiten, den Nebenregenbogen; in ihm ist die Farbenfolge die umgekehrte, und sein Radius beträgt etwa 54°. Vielfach beobachtet man auch innerhalb des ersten und außerhalb des zweiten noch rot und grün gefärbte Bögen, die „überzähligen" Regenbögen. Airy hat gezeigt, daß es Interferenzerscheinungen sind, und daß sie von der Tropfengröße abhängen. Hieraus erklären sich auch manche abnorme Erscheinungen, so der weiße Regenbogen. Er entsteht bei Tröpfchen sehr verschiedener Größe, wobei die Bögen der verschiedenen Tropfen sich übereinander lagern und so durch die Farbenmischung die weiße Farbe entsteht.

§ 52. Das Polarlicht.

Eine prächtige Lichterscheinung der Atmosphäre in den höheren Breiten, jedoch von rein elektrischer Natur, ist das Polarlicht. Es erscheint teils als Lichtbogen am Horizont, unter welchem der Himmel dunkler zu sein scheint als ringsum, teils in aufflackernden Strahlen und vorhangartig ausgebreiteten Bändern. Seine Farben sind weiß bis rot. Diese Erscheinung steht in innigem Zusammenhang mit dem Erdmagnetismus und gehört deshalb erst in zweiter Linie in das Gebiet der Meteorologie. Erst in neuerer Zeit hat Paulsen eine Theorie desselben aufgestellt. Nach ihm ist das Nordlicht eine Fluorescenzerscheinung, ein Analogon zu der neuerdings vielfach untersuchten „Kathodenstrahlung". Es ist dies jene Strahlung, welche vom negativen Pol in stark luftverdünnten Röhren (Geißlersche Röhren) ausgesendet, von der Luft absorbiert wird und dabei Fluorescenzerscheinungen hervorruft. Nach Paulsen existiert an der Grenze der Atmo-

sphäre, wenigstens in den Polargegenden, eine Schichte negativer Elektricität, von welcher eine elektrische Strahlung ausgeht, die schon in den obersten Atmosphärenschichten absorbiert wird und so dieselben zum Leuchten bringt. Der Sitz des Nordlichts wurde in Höhen von 50 bis 60 km nachgewiesen; ganz ausnahmsweise senkt sich dasselbe aber auch bis auf 5 km herab.

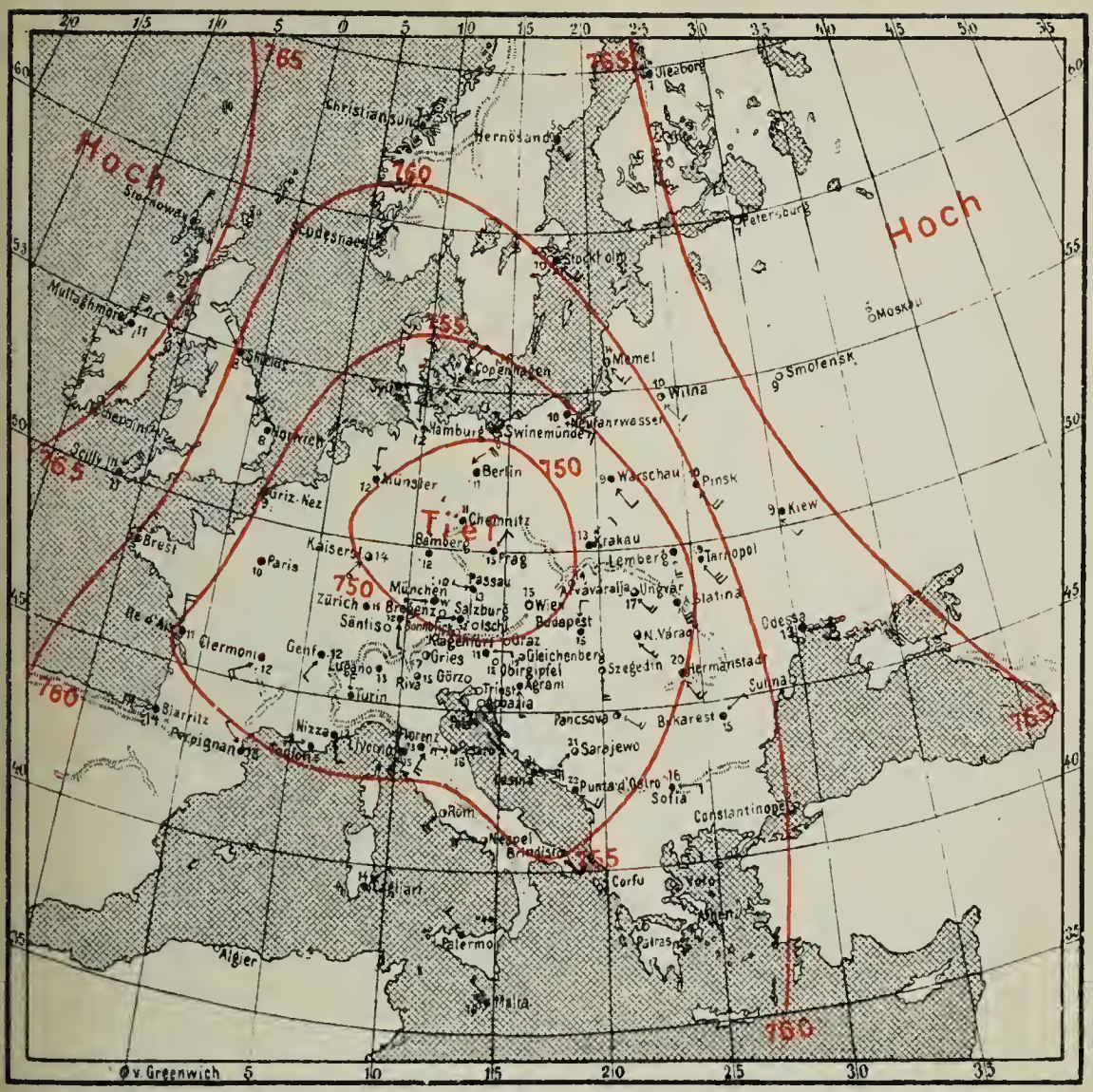
Wetterprognose.

§ 53. Grundlage der wissenschaftlichen Prognose.

Wir verstehen unter „Wetter" die Gesamtheit aller einzelnen meteorologischen Elemente, als Temperatur, Feuchtigkeit, Bewölkung, Niederschlag u. s. w., welche jeweilig unser natürliches Empfinden beeinflußt. In den Tropen und in der Gegend der Monsune verläuft auch das Wetter ungemein regelmäßig und gesetzmäßig, während es in unseren Breiten einen sprichwörtlich wechselvollen Charakter hat.

Die Lehre von diesen Gesetzen und Aenderungen, die „Wetterlehre" mit ihrer praktischen Anwendung, der Wetterprognose, kann bis jetzt kaum als selbständige Wissenschaft gelten, muß vielmehr vorläufig noch als ein Zweig der Meteorologie betrachtet werden. Eine wissenschaftliche Behandlung derselben wurde überhaupt erst um die Mitte unseres Jahrhunderts angebahnt, als man entdeckte, daß das Wetter, der Gesamtkomplex der einzelnen meteorologischen Faktoren, genau bestimmt sei, sobald man nur von einem derselben, dem Luftdruck, die Verteilung über einem größeren Gebiete in der betreffenden Zeit kenne. Nun begann man mit der Entwerfung der „Wetterkarten", deren

Fig. 47. Wetterkarte.



Die Linien (Isobaren) verbinden die Orte mit gleichem (aufs Meeres-Niveau reduciertem) Barometerstande. Die Pfeile fliegen mit dem Winde; deren Befiederung giebt die Windstärke an. ⟵ schw. Wind. ⟵ Orkan. Die Ziffern bei den Stationen bedeuten die Temperatur. Bewölkung ○ klar bis ● bedeckt. ●: Regen. ● ✱ Schnee. ● ≡ Nebel. ● K Gewitter.

Allgemeine Uebersicht:

Ueber Mitteleuropa ist der Luftdruck rapid gefallen und befindet sich ein tiefes Depressionscentrum über Nordböhmen, unter dessen Einfluss in ganz Centraleuropa zumeist trübes, zu Gewitterbildungen geneigtes Wetter mit ausgebreiteten und vielfach sehr ergiebigen Niederschlägen herrscht. Maximalgebiete bedecken den Nordwesten und Nordosten von Europa. Die Temperatur ist im Westen teilweise etwas gesunken, im Osten gestiegen. (26. Mai 1894.)

erste 1858 durch Leverrier veröffentlicht wurde. Dieselben beruhen auf den Beobachtungen, welche an verschiedenen Stationen in ganz Europa um 7 Uhr früh angestellt und von dort telegraphisch an eine Zentrale berichtet werden. Es handelt sich dabei vor allem darum, die von allen Stationen gemeldeten Beträge des Luftdrucks auf das Meeresniveau zu reduzieren und alle Punkte gleichen Luftdrucks durch Isobaren zu verbinden. Diese Karten (Fig. 47) geben somit ein vollständiges Bild der Luftdruckverteilung in ganz Europa für den betreffenden Zeitpunkt; mit der Luftdruckverteilung ist aber erfahrungsgemäß das ebenfalls aus den Karten ersichtliche Wetter für das ganze Gebiet vollständig bestimmt.

Ehe wir zum Problem einer Wetterprognose schreiten können, drängt sich uns somit die Vorfrage auf: Wie hängt das Wetter von der Druckverteilung ab? Welches Wetter entspricht einer bestimmten Druckverteilung?

§ 54. Das Wetter bei verschiedener Druckverteilung.

So mannigfaltig sich nun die Druckverteilung gestalten kann, so verschieden ist auch das Wetter; gleichwohl hat man gewisse charakteristische Typen der Druckverteilung ermittelt. Wir geben im Folgenden einige Beispiele, aus denen der Zusammenhang zwischen Druckverteilung und Wetter erhellt.

Vor allem fassen wir das barometrische Maximum ins Auge. Wir wissen, daß innerhalb eines solchen die Luft in absteigender Bewegung begriffen ist, sich dabei erwärmt und dadurch immer trockener wird. Im Gebiete eines Maximums lösen sich somit alle Wolken auf: wir haben heiteren Himmel und schönes Wetter. Da der heitere Himmel und die trockene Luft vor allem eine Vergrößerung der Ein- und Ausstrahlung bedingen, so haben wir hier große tägliche Temperaturschwan-

kungen: warm am Tage, kühl bei Nacht. Im Sommer, wo bei hohem Sonnenstand die Einstrahlung bedeutend überwiegt, haben wir daher durchgehends im Maximum sehr warmes, dagegen im Winter bei vergrößerter Ausstrahlung in den langen Nächten umgekehrt abnorm kaltes Wetter. Einen ganz andern Charakter hat dagegen das Wetter in einem Minimum: da ist, wie wir wissen, die Luft in aufsteigender Bewegung begriffen, also zu Wolken- und Niederschlagsbildung sehr geneigt.

Fig. 48 bringt schematisch nach Abercromby das Wetter zur Darstellung, wie es sich in den verschiedenen Teilen einer Depression gestaltet. Wir bemerken vor allem eine ausgesprochene Verschiedenheit auf der Vorder- und Rückseite einer solchen Depression. Ein charakteristischer Unterschied von dem Maximum besteht ja auch darin, daß die Depression in einer bestimmten Richtung sich bewegt. Wir gewahren im Innern des Minimums, etwas gegen vorne vorgeschoben, ein Niederschlagsgebiet, auf der Vorderseite ein Ueberwiegen der Stratus-, auf der Rückseite der Cumulusbildung. Dieses Schema lehrt uns aber auch den wahren Wert und die wissenschaftliche Bedeutung so mancher populären Wetterregel würdigen. So sehen wir, daß für einen Ort, über welchen eine Depression hinzieht, sich zuerst ein Cirrusschleier mit Sonnen- und Mondringen einstellt; der Rheumatismus, die „Hühneraugen" machen sich bemerkbar; es nahen immer niedrigere Isobaren, das Barometer fällt. Darin findet das Volk

Fig. 48. Wetter im Barometer-Minimum.

mit Recht Vorzeichen von Niederschlägen und unruhigem Wetter, denn dieses letztere tritt ja ein, sobald das Zentrum der Depression über den Beobachter hinwegzieht.

Doch auch davon überzeugen wir uns, daß derartige Wetterregeln nicht auf volle Zuverlässigkeit Anspruch machen können. Denn es braucht nur die Depression von ihrer ursprünglich eingeschlagenen Bahn seitlich abzuweichen, so bleibt der Niederschlag vielleicht ganz aus. Oder wir beobachten ein fortwährendes Fallen des Barometers: trotzdem handelt es sich gar nicht um eine eigentliche Depression, sondern nur um eine Furche tiefen Drucks, in welcher wieder kein Niederschlag zu folgen braucht.

Alle diese Wetterregeln haben somit, wenn ihnen auch ein ganz gesunder Kern innewohnt, stets nur teilweise Richtigkeit, und nur an der Hand der Wetterkarten können sie zu guten Prognosen verwendet werden.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir in der gleichen Weise das Wetter für den Keil (ein Gebiet hohen Druckes, das sich zwischen zwei Depressionen einschiebt) oder den Sattel (ein Hochdruckgebiet, das zwei Maxima verbindet) oder die Furche u. s. w. besprechen. Für verschiedene Oertlichkeiten liegen ja auch die Verhältnisse vielfach verschieden; die von Abercromby hauptsächlich für England ermittelten Verhältnisse passen manchmal nur schlecht auf andere Gegenden. Für jedes Land müßte somit vor allem die Beziehung zwischen den einzelnen Isobarentypen und dem entsprechenden Wetter nach dem vorliegenden Beobachtungsmateriale untersucht werden. Die Durchführung dieser Aufgabe bleibt der Zukunft vorbehalten.

§ 55. Die Prognose und ihr gegenwärtiger Stand.

Denken wir uns diese Vorfrage auch für jede Oertlichkeit in allen ihren Einzelheiten gelöst, so kennen wir doch nur, und zwar aus der Luftdruckverteilung, wie sie uns die Wetterkarte darstellt, das Wetter, wie es *ist* oder richtiger in jenem Zeitpunkt *war*, für welchen die Karte entworfen worden ist. Wie aber sollen wir aus ihr das künftige Wetter erschließen? Dies ist nur möglich, wenn es uns gelingt, aus der heutigen Luftdruckverteilung einen Schluß auf die von morgen zu ziehen.

Unsere erste Aufgabe wird aber dann die sein, nach den Ursachen der Aenderungen in der Luftdruckverteilung zu forschen: kennen wir diese, so ist es nicht schwer, die durch sie hervorgebrachten Aenderungen vorauszubestimmen. Exakte Prognosen des Wetters setzen somit eine vollkommene Kenntnis der Gesetze der Atmosphäre voraus: deren Studium, vor allem dasjenige der Entstehung, Bewegung und Umbildung der Gebiete, hohen und tiefen Drucks ist sonach die Hauptaufgabe des Meteorologen.

Bis jetzt wissen wir nur, daß der hohe Luftdruck stets die Tendenz hat, seinen Standpunkt möglichst lange zu erhalten, während umgekehrt die Minima im allgemeinen immer im Fortschreiten begriffen sind. Für letztere hat van Bebber gewisse *Zugstraßen* ermittelt; aber derselben giebt es so viele und es ist so unbestimmt, welchen dieser Wege gerade eine spezielle Depression einschlagen wird, daß wir noch ziemlich weit davon entfernt sind, mit einiger Verläßlichkeit auch nur auf 24 Stunden vorauszusehen, in welcher Weise die augenblickliche Druckverteilung sich umformen wird. Dennoch sind unsere Prognosen besser als ihr Ruf, denn unter 100 Fällen weisen unsere Prognosen doch 80—90 Treffer auf.

Viel trägt freilich hierzu der Umstand bei, daß im allgemeinen dem Wetter eine Tendenz zur Beständigkeit innewohnt. Ja so stark ist diese „Beharrungstendenz", daß es Professor Hermann Klein möglich ward, den Wetterprognosten einen recht bösen Streich zu spielen. Er ermittelte nämlich, wie viele Treffer der erzielen könnte, der jeden Tag zu prophezeien wagen würde: „Das Wetter wird morgen genau so sein, wie es heute ist." Und siehe da, es ergab sich das erheiternde Resultat, daß ein solch naiver Wetterprophet eben so viel Treffer erziele, ja sogar noch etwas mehr als jener, welcher auf Grund der Wetterkarten Prognosen stellt. Mit Recht hat Bebber hiergegen geltend gemacht, daß trotzdem der wissenschaftlichen Prognose ein höherer Wert zukomme. Denn gerade der Wechsel des Wetters ist es ja, für den wir uns zumeist interessieren, und wenn es sich um einen Wetterwechsel handelt, dann hat der nach Kleins Rezept Prophezeiende gar nie einen Treffer aufzuweisen, während z. B. bei den Prognosen der Hamburger Seewarte auf Wechsel der Witterung 121 gute nur 35 schlechten, 94 sehr gute nur 22 sehr schlechten gegenüberstanden. Besonders da, wo man neben den telegraphisch ausgegebenen Prognosen, die auch eine kurze Schilderung der Luftdruckverteilung enthalten, noch das Barometer aufmerksam verfolgte, um so einige Anhaltspunkte für die Veränderung zu gewinnen, und diese kombinierten telegraphisch-lokalen Prognosen etwa durch optische Signale der Umgebung bekannt gab, da hat man schon recht schöne, der Landwirtschaft förderliche Ergebnisse erzielt.

§ 56. Kosmische Einflüsse auf das Wetter.

Da man die Sonne in erster Linie als Urheberin aller Veränderungen in der Atmosphäre erkannt hatte, (vergl. S. 20)

so lag es nahe, auch dem Monde eine gewisse Einwirkung auf das Wetter zuzuschreiben. Diese Ansicht ist auch uralt; durch Falb ist dieselbe weit verbreitet, aber auch — in Mißkredit gebracht worden.

Falb nennt bekanntlich jeden auf die Neumonds- oder Vollmondszeit fallenden Tag einen „kritischen" und behauptet, daß in diesen Tagen irgendwo irgend etwas besonderes vorgehe: Wolkenbrüche, Gewitter im Winter, Schlagwetter, Stürme, Ueberschwemmungen u. s. w. sollen an diesen „kritischen Tagen" vornehmlich zu erwarten sein.

Da aber nach seiner Meinung auch an den drei dem kritischen Tage vorausgehenden oder nachfolgenden Tagen solche Ereignisse eintreffen dürfen, so sind während eines Mondumlaufes von 28 Tagen 2mal sieben Tage belegt, und es wird schon nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit von je 2 derartigen Ereignissen eines auf einen jener 14 Tage fallen müssen, also als Treffer gezählt werden können. Daß solchen „Treffern" die gleiche Zahl von Nichttreffern entgegensteht, das pflegt man vornehm zu ignorieren. Pernter hat nachgewiesen, daß all diese Erscheinungen, die allerdings an „kritischen" Tagen vorkommen, genau eben so oft auch an den anderen Tagen eintreten.

Damit soll nun freilich nicht gesagt sein, daß der Mond keinen Einfluß auf das Wetter habe: dieser ist vielmehr sehr wohl möglich; worin er aber besteht, falls derselbe vorhanden ist, wissen wir noch nicht.

Und in der That scheint ein solcher Einfluß des Mondes auf die Luftdruckverteilung zu existieren. Vielleicht ändert derselbe die Lage der Zugstraßen der Depressionen, vielleicht bewirkt er auch Aenderungen in der allgemeinen Circulation. Je nach dem Orte, um den es sich handelte, wäre dann auch

der Mondeinfluß ein ganz verschiedener: wo der hohe Druck zur Zeit des Vollmondes verstärkt würde, da wäre der Niederschlag geringer; an jenem Orte, von wo dieser Luftüberschuß weggeströmt und gleichzeitig der Druck veringert würde, da müßte umgekehrt um diese Zeit eine Neigung zu Niederschlag eintreten. Vielleicht erklären sich so die widersprechenden Ergebnisse verschiedener Oertlichkeiten.

Nicht viel anders steht es mit dem Einfluß der Sonnenflecken auf das Wetter. Zweifellos ist ein Einfluß derselben auf die Luftdruckverlagerung anzunehmen, zu sicheren Ergebnissen ist man jedoch noch nicht gelangt. Würde es gelingen denselben zu finden, könnte man auf längere Zeit hinaus das Wetter voraussagen.

Bis jetzt ist eine Prognose auf 24 Stunden das äußerste, was die Wetterkunde zu leisten vermag. Doch berechtigen die bisher gewonnenen Resultate zu den schönsten Hoffnungen für die Zukunft.

Bedeutung der Atmosphäre für unsere Erde.

§ 57. Bedeutung der Atmosphäre und ihrer Zusammensetzung für das Leben der Tiere und Pflanzen.

Wenn wir einen Rückblick werfen auf die letzten Ursachen all jener wechselvollen Erscheinungen, die sich in der Atmosphäre abspielen, so führten sie uns überall in letzter Linie zu der Sonne, als dem Urquell aller Verwandlungen auf unserer Erde.

Für die Form, wie sich unter dem Einfluß der Sonne die atmosphärischen Vorgänge abspielen, ist die Kugelgestalt,

die Achsenstellung und Rotation unserer Erde, aber auch die besondere Zusammensetzung der Atmosphäre maßgebend. Diese, durch die Schwerkraft an die Erde gefesselt, breitet sich als schützende Hülle, Lebensmedium und Verteilerin von Licht und Wärme um unseren Erdball.

Dem Sauerstoffgehalt der Luft verdanken wir die Möglichkeit organischen Lebens auf der Erdoberfläche, sowie auch die Möglichkeit der Verbrennungsprozesse, ohne welche wir eine Thätigkeit auf der Erde gar nicht denken können. Das Leben des Menschen und der Tiere ist ja übrigens auch wesentlich ein Verbrennungsprozeß; der in der Nahrung aufgenommene Kohlenstoff verbindet sich mit dem eingeatmeten Sauerstoff zu Kohlensäure, die durch die Lungen an die Atmosphäre abgegeben wird.

Der Sauerstoff muß somit als der wichtigste Bestandteil unserer Atmosphäre bezeichnet werden. Jedoch ist der Wechsel im Sauerstoffgehalt der Luft nicht von großer Bedeutung. Spricht man von einer besonders sauerstoffreichen Luft und bezeichnet man dieselbe als eine hygienisch besonders wertvolle, so kann damit nur gemeint sein, daß in solcher Luft schädliche Beimengungen fehlen und deren Kohlensäuregehalt gering ist. Ebenso muß es als ein Vorurteil bezeichnet werden, wenn man ozonreiche Luft als besonders gesund bezeichnet. Ozon ist vielmehr ein giftiges Gas, aber insofern heilsam, als es die in der Luft schwebenden Bakterien vermindert.

Von ebenso hohem Wert als der Sauerstoff ist für den Kreislauf des Naturlebens der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre. Er ist dasselbe für das Pflanzenleben, was der Sauerstoff für das Tierleben ist. Das Tier verzehrt Sauerstoff und erzeugt Kohlensäure, die Pflanze verzehrt Kohlensäure und giebt Sauerstoff von sich, indem sie unter dem

Einfluß der Sonnenstrahlen die Kohlensäure in Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob sich Verbindung und Zersetzung stets das Gleichgewicht halten; oder ob nicht durch ein Ueberwiegen der Kohlensäureproduktion die Luft im Laufe der Zeit allmählich immer reicher an Kohlensäure werden müsse. Es scheint, daß diese Gefahr eine sehr geringe ist, schon weil das Meer diesbezüglich ausgleichend wirkt, indem es beim Ueberwiegen der Kohlensäure beträchtliche Mengen derselben absorbiert.

Nicht minder wichtig als die Kohlensäure ist für das Pflanzenleben ferner der Wasserdampf und der Staub. „Wäre kein Staub in der Luft", sagt Aitken, „so gäbe es weder Nebel noch Dunst, und wahrscheinlich auch keinen Regen; jedes Ding auf der Erdoberfläche würde sich in einen Kondensator verwandeln, jeder Grashalm, jeder Baumzweig würde von Wasser triefen, unsere Kleider wären durchnäßt und selbst das Innere unserer Häuser würde mit Feuchtigkeit überzogen sein." Den geordneten Wechsel von Trockenheit und Niederschlag verdanken wir also hauptsächlich dem Staube.

Auch der Kreislauf des Wassers vom Ocean, über dem es verdampft, zum Lande, über dem es im Niederschlage zur Erde zurückkehrt, wäre somit in der Form, in welcher er sich abspielt, ohne die eigentümliche Zusammensetzung der Atmosphäre nicht möglich. Indem sich der Wasserdampf an den einzelnen Staubteilchen, die vielfach Ammoniak als Nitrat oder Nitrit enthalten, niederschlägt und so diese zur Erde führt, erfüllt er gleichzeitig die wichtige Aufgabe, den Erdboden durch Stickstoffzufuhr zu düngen. Nach den angestellten Beobachtungen enthält ein Liter Regenwasser in unseren Gegenden etwa

0·5 mgr Ammoniak,[1]) über Städten noch viel mehr; auch in den Tropen haben Müntz und Marcano mehr, nämlich 1·55 mgr pro Liter, gefunden, ein Reichtum, der eine Folge der zahlreichen elektrischen Entladungen ist.

§ 58. Die Bedeutung der Atmosphäre im Energiehaushalte der Erde.

Einen tiefgreifenden Einfluß übt die Zusammensetzung unserer Atmosphäre auch auf den Wärmehaushalt unserer Erde. Wie oben (S. 39) gezeigt, sind bei dem Durchgang der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre zwei Vorgänge zu unterscheiden: die diffuse Reflexion, welcher besonders die kurzwelligen Strahlen unterworfen sind, und die Absorption, welche sich nur auf gewisse langwellige Strahlen erstreckt und speziell dem Wasserdampf und der Kohlensäure zuzuschreiben ist. Unterscheiden wir nur die sichtbaren und die dunklen Strahlen, so machen an der Grenze der Atmosphäre die ersteren etwa 45 % der Gesamtenergie aus, die letzteren etwa 55 %. Bei dem Durchgang durch die Atmosphäre nun verhalten sich beide Strahlenarten ganz verschieden. Von der leuchtenden, die allein der diffusen Reflexion unterworfen sind, gelangen etwa 52 % durch die Atmosphäre hindurch, die restlichen 48 % werden als diffuses Tageslicht nach allen Seiten zerstreut; ein bedeutender Teil derselben gelangt auf diesem Wege auch noch zur Erdoberfläche. Von den dunklen Strahlen gelangen dagegen etwa 73 % bis zur Erdoberfläche, der Rest wird fast ganz in der Atmosphäre absorbiert.

Betrachten wir nun aber die Ausstrahlung! Diese be-

[1]) Zu Montsouris, wo man regelmäßige Messungen angestellt hat, fand man im Jahresmittel 0·71 mgr. pro Liter, d. i. bei der beobachteten Niederschlagsumme 391 mgr pro Quadratmeter.

steht durchwegs aus dunklen Strahlen, gerade denen, welche von der Kohlensäure und dem Wasserdampf absorbiert werden. Somit verhält sich die Erde mit ihrer Atmosphäre ähnlich wie ein Glashaus. Glas läßt ja auch die Lichtstrahlen ziemlich leicht durch, absorbiert aber die dunklen Strahlen; es läßt somit die Sonnenstrahlen leicht eintreten, verhindert aber den Austritt der dunklen Strahlen. Genau so ist es bei der Erde. Wir verdanken es der „selectiven" Absorption, daß die Sonnenstrahlen zum überwiegenden Teile auf die Erde gelangen und deren Oberfläche wie die darüber befindliche Atmosphäre erwärmen, daß aber jene Strahlen, welche nun die Erdoberfläche und die Atmosphäre aussendet, von dieser letzteren zurückgehalten werden.

Es wird so eine fortwährende Aufspeicherung von Energie auf unserer Erdoberfläche ermöglicht: in den Waldungen und Kohlenflözen besitzen wir solche durch Jahrhunderte aufgespeicherte Sonnenenergie. Aller Kulturfortschritt beruht auf dieser Aufspeicherung von Energie. Welch bedeutende Arbeitsleistung repräsentiert z. B. ein Buch. Wir meinen nicht in geistiger Hinsicht, sondern nach der mechanischen Leistung, die erforderlich ist, um das Blei zu gewinnen, dieses in Lettern-form zu gießen, letztere passend anzuordnen und endlich auf dem Papier zum Abdruck zu bringen, zu dessen Gewinnung abermals eine riesige Arbeit geleistet werden mußte. In letzter Linie ist es die Sonne, die das alles leistet; die fertig vorliegenden Ergebnisse sind aufgespeicherte, kapitalisierte Sonnenenergie.

Und welche Wohlthaten spendet der Menschheit das diffuse Tageslicht! Auch dieses wäre ohne die durch die Zusammensetzung bedingten besonderen Eigentümlichkeiten der Atmosphäre nicht möglich!

Die Fähigkeit der letzteren als schützende Hülle zu dienen, wird durch die Bewegungen der Luft ungemein gefördert. Die Atmosphäre wirkt auf der Erdoberfläche auch als Wärmeverteilerin. Durch die Konvektion werden die Luftschichten in vertikaler, durch die allgemeine Cirkulation in horizontaler Richtung gemischt. Welch große Rolle dabei der Wasserdampf spielt, haben wir genügend erörtert. Mit jedem Millimeter Wasser, das pro Quadratmeter über dem Meere verdampft und als Niederschlag auf dem Lande niederfällt, wird vom Meere zum Land eine Wärmemenge übertragen, welche hinreicht, um etwa 2400 Kubikmeter Luft um 1° C zu erwärmen. Die über dem Lande stattfindende verstärkte Ausstrahlung wird dadurch wieder vollständig ausgeglichen.

So erkennen wir, daß jeder der einzelnen Hauptbestandteile der Atmosphäre eine Grundbedingung für das Leben bildet, wie es sich auf unserem Erdballe abspielt, und daß die Frage, ob auch auf diesem oder jenem Planeten ein organisches Leben möglich sei, mit der Frage zusammenfällt, ob derselbe eine Atmosphäre besitzt und wie dieselbe beschaffen sei.

§ 59. Beeinflussung des Wetters durch die Menschenhand.

Sind auch die Versuche, künstlich auf das Wetter einzuwirken, kläglich gescheitert, so müssen wir doch die Möglichkeit einer Beeinflussung des Wetters durch den Menschen zugeben. Zunächst gilt auch vom Wetter, was von andern Zuständen gesagt wird: es ist — schlechter geworden! Und seit wann? Seit dem großen volkswirtschaftlichen Aufschwung, der mit dem Beginn der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts eingetreten ist.

Nicht als ob etwa die Mittel-Temperaturen, die Niederschläge oder ein anderes meteorologisches Element sich in be-

stimmtem Sinne geändert hätten: derartiges wurde bisher nicht beobachtet. Aber die Extreme scheinen in gewisser Hinsicht verschärft worden zu sein; denn diese Beeinflussung des Wetters erkennen wir vor allem an der Zunahme der Gewitter, die ja als Ausgleicher von Extremen wirken.

Diese fortwährende Steigerung der Gewitterhäufigkeit seit Ende der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts hat insbesonders Kassner, Direktor der Provinzial-Feuersocietät der Provinz Sachsen, durch seine lehrreiche Zusammenstellung erwiesen, die er den Daten der Versicherungsgesellschaften von ganz Mitteldeutschland entnahm: darnach ist im Zeitraum von 1864/76 bis 1877/89 die Zahl der Blitzschläge mehr als verdoppelt worden; dieselbe ist um 129 % gestiegen.

In der ersten Periode wurden 3704 Blitzschläge an 586 Blitzschlagtagen beobachtet, in der zweiten 8659 Blitzschläge an 760 Blitzschlagtagen. Es hat sich somit nicht nur die Zahl der Gewitter vermehrt, sondern auch die einzelnen Gewitter sind schwerer, blitzschlagreicher geworden. In der ersten Periode haben wir 6·3 Blitze durchschnittlich an einem Gewittertag, in der zweiten Periode 11·3!

Nicht uninteressant ist auch das Ergebnis, daß die nicht zündenden sich stärker vermehrt haben, als die zündenden. Dies erklärt sich so: bei harter Bedachung kommen viel weniger zündende Blitzschläge vor; da nun die Zahl der weichgedeckten Häuser von Jahr zu Jahr abnimmt, so wird sich auch die Zahl der zündenden Blitze relativ vermindern.

In der 16-jährigen Periode 1876—1891 hat sich die Zahl der Blitzschläge um 72 % vermehrt, und so ist die Zunahme eine von Jahr zu Jahr stetig fortschreitende. Wir lassen nachstehend die Kassnerschen Werte für 4-jährige Zeitabschnitte folgen:

	1876/79	1880/83	1884/87	1888/91
Süddeutschland:	951	1172	1558	2236
Mitteldeutschland:	2431	3061	5203	5547
Norddeutschland:	1631	2003	2872	2821

Dabei kommt übrigens auch die Zahl der versicherten Gebäude in Betracht; doch ist deren Zahl nur um 9 % gestiegen.

Da sich diese Zunahme der Gewitter besonders in dem industriereichen Sachsen zeigt, so ist es wohl keinem Zweifel unterworfen, daß dieselbe eine Folge der durch die Industriethätigkeit erzeugten Staub- und Rauchmengen ist. Die Rolle, welche der Staub bei der Kondensation spielt, haben wir (vgl. S. 93) kennen gelernt, aber auch auf die Elektricitätsentwicklung in der Atmosphäre mag derselbe einen gewissen Einfluß ausüben. Mit der Gewitterhäufigkeit ist leider auch die Hagelgefahr gestiegen. W. Krebs hat aus der Bühlerschen Hagelstatistik den Beweis erbracht, daß auch die Zahl der verhagelten Flächen pro Hageltag beträchtlich gestiegen ist. Es betrug die

	1828/47	1848/67	1868/87
verhagelte Fläche .	659·5	757·0	967·0 Hektar.

Sonach würde einerseits die Landwirtschaft durch die industrielle Thätigkeit eine nicht unbeträchtliche Schädigung erleiden; andrerseits aber wird durch die Gewitterhäufigkeit auch der Ammoniakgehalt der Luft erhöht, welcher der Landwirtschaft wieder einen, wenn auch kleinen Vorteil bringt.

Wie beträchtlich die Veränderung in der Zusammensetzung der Luft durch industrielle Betriebe werden kann, dafür bietet die Luft über London das beste Beispiel. W. J. Russel hat die Wirkungen der Stadtnebel auf London eingehend untersucht und folgende Steigerung der Winternebel ermittelt:

	1870/75	1876/80	1880/85	1886/90
Zahl der Nebel:	93	119	131	156

Diese Nebel, die somit an Zahl stetig zugenommen haben, sind nicht weiße Nebel, wie solche auf der See und dem Lande vorkommen, sondern dunkle, fast schwarze Nebel, denen eine Menge von allen möglichen Substanzen beigemengt ist. Die Hauptbestandteile des 6 Tonnen pro Quadratmeile betragenden festen Niederschlags, den dieser Nebel in nur 14 Tagen zurückläßt, sind: Kohlenstoff 39%, Kohlenhydrate 12%, Mineral-Substanzen 32%, Schwefelsäure 4% u. s. w. Zudem steigt an solchen Nebeltagen auch der Kohlensäuregehalt der Luft oft bis zu 0·14%.

Jener feste Niederschlag gleicht einem braunen Anstrich, der sich nicht wegwaschen, sondern nur mit dem Messer abkratzen läßt. Allein die Schwefelsäure macht bei einem dreitägigen Nebel pro engl. Quadratmeile 1·5 Centner aus!

Daß darunter insbesondere das Pflanzenleben notleidet, liegt auf der Hand; und es ist sicher, daß, wenn die Nebelplage in London in gleicher Weise wächst, jede Gartenkultur in der Nähe von London unmöglich werden muß.

Aber auch auf den Gesundheitsstand wirken derartige Nebel höchst nachteilig ein, ganz abgesehen davon, daß der Rauch und Nebel gerade die chemisch wirksamen Sonnenstrahlen, die größten Feinde der Bakterien, am meisten zurückhält und so gewissermaßen die Desinfektion der Luft durch die Sonnenstrahlung hindert. In welchem Maße das Sonnenlicht durch Nebel und Rauch abgehalten wird, das geht daraus hervor, daß allein der Schaden durch Gasverbrauch an einem Nebeltage in London über 3000 £ beträgt.

Diese Zunahme der Nebel über London wird erklärlich, wenn wir die Rauchmassen in Betracht ziehen, welche in

London durch die Fabrikthätigkeit in die Atmosphäre befördert werden. Im Jahre 1875 betrug der Kohlenkonsum in London 4 882 000 Tonnen, im Jahre 1889 6 391 000 Tonnen!

Eine weitere Beeinflussung der Witterung durch den Menschen tritt in den Entwaldungen zu Tag. Man hat lange darüber gestritten, ob der Wald einen Einfluß auf das Klima ausübe. Müttrich hat in der That denselben nachgewiesen. Auf der Lüneburger Heide wurden seit 1877 bei Lintzel 3512 ha aufgeforstet. Im Verhältnis zu den Stationen der Umgebung hat nun der Niederschlag in Lintzel seit der Aufforstung gleichmäßig zugenommen. Er betrug in Bezug auf die Vergleichsstationen außerhalb:

1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888
81·8	86·3	95·2	99·8	100·6	103·7	103·9 %.

Sicher ist, daß die Entwaldungen den Erdboden umwandeln, damit ein rascheres Abfließen der Niederschläge und Ueberschwemmungsgefahr verursachen.

Namen- und Sachregister.

Abercromby 130.
Ablenkende Kraft der Erdrotation 70.
Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe 11, 60.
Abnahme der Temperatur mit der Höhe 20, 55.
Absolute Feuchtigkeit 84.
Absorption 27, 39, 138.
Actinometer 30.
Aitken 14, 93, 110, 137.
Alto-Cumulus 95
Alto-Stratus 95
Amplitude 47, 63.
Anemometer 69.
Aneroid-Barometer 60
Angot 53.
Anomalie 55.
Anticyklone 81, 129.
Arago'scher Punkt 120, 125.
Aspirations-Psychrometer 45.
Assmann 45, 87, 93, 94.
Atmosphäre 10.
—, Bedeutung derselben 135, 138.
—, Höhe 62.
Atmosphär. Lichterscheinungen 119.
Atmosphär. Schwingungen 65.
Aufspeicherung von Energie 139.
Aufsteigen der Luft, Bedeutung desselben 19, 58, 92, 101, 108, 130
Aufstellung d. Thermometer 44.
August'sches Psychrometer 87.
Ausstrahlung der Erde 40, 139.

Babinet'scher Punkt 120, 125.
Ballonfahrten 25, 57.
Barograph 60.
Barometer 58.
—-Depressionen 29, 130.
—, Fallen 130.
—-Maxima 84, 129.
—-Minima 84, 130.
— — Zugstraßen 132, 134.
Batelli 89.
Bebber 132.
Beobachtungsnetze 21.
Beobachtungsstunden 22, 49.
Bergwind 74.
Bewölkung, jährl. Gang 100.
Bewölkung, tägl. Gang 99.
Bewölkung, Schätzung 99.
Bezold 83, 89, 98.
Billwiller 99.
Bishop'scher Ring 124.
Blanford 74.
Blau des Himmels 119.
Blitz 117.
Blitzschläge 119.
Bolometer 34.
Bora 77.
Brewster'scher Punkt 120.
Buchan 52.
Bühler 142.
Busch 125.
Buys-Ballot'sches Gesetz 79.

Calmenzone 71.
Campbell-Stokes'scher Sonnenscheinautograph 99.
Celsius-Thermometer 42.
Centralanstalten, meteorolog. 7, 22.
Chamsin 77.
Chwolson's Actinometer 31.
Circulation, allg. der Atm. 70, 101, 140
Cirro-Cumulus 95.
Cirro-Stratus 95.
Cirrus 95.
Clayton 101.
Cumulo Nimbus 95.
Cumulus 95.
Cyklonen 78, 130.

Dämmerung 120.
Dampfdruck 85, 91, 92.
— bei Sättigung 85, 92.
Depressionen, 79, 130.
De Romas 111.
Diffuse Reflexion 39, 138.
Donner 117.
Dove 49, 52, 53, 73.
Durchlässigkeit der Atmosphäre 32, 34.
Elektrische Ladung der Atmosphäre 117.
— — der Erde 116.
Elektroskop 113.
Elmsfeuer 118.
Elster 114.
Energiehaushalt der Erde 138.
Entwaldungen, Einfluß auf den Niederschlag 144.
Erhaltungstendenz des Wetters 132.
Erman 112.
Espy 75.
Euler 120.
Exner Franz 113.
Exner Karl 122.
Fahrenheit-Thermometer 42.
Falb 134.
Fallen des Barometers 130.
False-Point-Cyklone 80.
Fergusson 101.
Ferrel 73, 81.
Feuchtigkeit 84.
Feuchtigkeit, jährlicher Gang 91.
Feuchtigkeit, täglicher Gang 90.
Flächen gleichen Druckes 61.
Flächenblitze 106, 117.
Föhn 76.
Fortin-Barometer 59.
Franklin 111.
Fraunhofer 122.
Fundamentalabstand 42.
Furche tiefen Luftdruckes 131.
Geitel 114.
Gewitter 118.
Gewitter-Elektrizität 111, 117.
Gewitter-Nasen 118.
Gewitter-Zunahme 141.
Gipfelstationen 23.
Glaisher 25, 57.
Gradient 69.
Graupel 105.
Grenze der Atmosphäre 62.
Haarhygrometer 88.
Hadley 72.
Hagel 105.
Hagelgefahr, Zunahme 142.
Halo 120.
Hann 18, 48, 49, 52. 64, 69, 73, 74, 76, 82, 90, 91, 93.
Harmattan 78.
Hauptregenbogen 126.
Heberbarometer 59.
Hellmann 104, 123.
Hill 109.
Himmel, blaue Farbe 119.
Hof von Mond und Sonne 120.
Höhe der Atmosphäre 62.
Höhe der Wolken 100.
Höhenmessung, barom. 60.
Houdaille 110.
Humboldt, A. v. 52.
Hutton 93.
Hygrograph 88.
Hygrometer 88.
Jesse 126.
Isanomalen 54.
Isobaren 62, 129.
Isonephen 101.
Isothermen 52.
Kalte Bänder im Sonnenspectrum 36, [39]
Kämtz 122.
Keil hohen Luftdruckes 131.
Kießling 124.
Klein, Herm. 133.
Klimatologie 10.
Kondensation 92.
Konvection 48, 57, 140
Köppen 75.
Koppe's Haarhygrometer 88.
Kosmische Einflüsse auf das Wetter 133.
Krakatau-Ausbruch 124, 126.
Krebs 142.
Kreislauf d. Wassers 137.
Kritische Tage 134.
Kugelblitze 117.
Künstlicher Regen 106, 140.

Künstliche Beeinflussung des Wetters 140.
Lambrecht's Polymeter 88.
Lamont 49.
Landwind 73.
Langley 34, 38.
Lechner 24, 119.
Lemonnier 111.
Leuchtende Nachtwolken 125.
Leveche 77.
Leverrier, 129.
Lockyer 124.
Loomis 109.
Luft, Ausdehnung 17.
— Bedeutung ihrer Zusammensetzung 135.
— Bestandteile 12.
— Erwärmung durch Druck 18.
— Physikal.-Eigenschaften 17.
— spezif. Gewicht 12.
Luftdruck 11, 58.
— Abnahme mit der Höhe 11, 60.
— jährlicher Gang 63.
— täglicher Gang 63.
Luftdruck-Verteilung 62.
Luftelektrizität 111.
—, Abhängigkeit vom Dampfdruck 115.
—, Abhängigkeit von d. ultrav. Strahlung 115.

Marangoni 106.
Marcano 138.
Margules 66.
Mariotte-Gay-Lussaesches Gesetz 18.
Maurer 40.
Mauritius-Cyklone 80.
Maximum-Minimum-Thermometer 43.
Mazeas, Abbé 111.
Meteorologische Elemente 22.
— Institute 7, 23.
Mistral 77.
Mitteltemperaturen 48, 53.
Möller 73.
Mondeinfluß auf das Wetter 134.
Mond-Höfe u. -Ringe 122, 130.
Monsune 73.
Müntz 138.
Müttrich 144.

Naudet 60.
Nebel 95, 98, 143.
— Zunahme 142.
Neben-Monde und -Sonnen 123.
Neben-Regenbogen 127
Neutrale Punkte 120.
Niederschlag 102.
—, Abhängigkeit vom Terrain 109.
—, Arten 103.
—, Bedeutung des Waldes dafür 144.
Niederschlagshöhe 103, 108.
Nimbus 95.
Nordenskiöld 16.
Nordlicht 127.
Nullpunkt-Verschiebung bei Thermometern 42.

Oberbeck 73.
Obermayer 119.
Ombrometer 102.
Oppolzer 83.

Pascal 11, 60.
Paschen 39.
Passat 71.
Passatstaub 17.
Paulsen 127.
Peltier 112.
Pernter 73, 93, 99, 121, 124.
Polarisation des Himmelslichtes 120, 125.
Polarlicht 127.
Polarstaub 17.
Polymeter 88.
Potentialgefälle 113.
Pouillet 33.
Precht, 54.
Prognosen 128.
Psychrometer 45, 87.
Purpurlicht 121, 124.

Raureif 111.
Rayleigh Lord 66, 119.
Réaumur-Thermometer 42.
Regen 103.
— künstlicher 106.
Regenbogen 126.
Regenmengen 108.
Regenmesser 102.
Regentropfen, Größe 94, 122.
—, Schweben 94.
Registrierballons 25, [57.
Reif 111.
Relative Feuchtigkeit 85.
Richard 43, 60, 88.

Riggenbach 109, 124.
Ringe von Mond und Sonne 122, 130.
Roßbreiten 101.
Russell 110, 142.
Samum 77.
Sattel hohen Druckes 131.
Sättigung, Dampfspannung 85, 92.
Sättigungs-Defizit 87
Scheele 12.
Schnee 103.
Schneeflocken 104.
Schweben der Regentropfen 94.
Schwere-Correktion beim Barometer 59.
Schwingungen der Atmosphäre 65.
Scirocco 77.
Seewind 73.
Siedethermometer 60.
Siemens 73.
Sigson 104.
Solarkonstante 29, 37.
Sonne, Temperatur 38.
—, Wichtigkeit für die Erde. 133.
Sonnenflecken, Einfluß auf das Wetter 135.
Sonnen-Höfe und -Ringe 122, 130.
Sonnenschein-Autograph 99.
Sonnenschein-Dauer 32, 99.
Sonnenspektrum, Intensität 35.
Sonnenstrahlung, Intensität 32.
Spitaler 53.
Sprung 73.
Stationen, Anzahl 22.
Stationen auf Bergen 23.
Stations-Barometer 58.
Staub, Arten 16.
— —, Bedeutung 93, 115. 154, 137.
Staubteilchen, Zahl 14.
Strahlung 25.
Strahlung der Atmosphäre 40.
Strato-Cumulus 95.
Stratus 95.
Tageslicht 119, 139.
Tagesmittel d. Temperatur 49.
Teifune 79.
Teisserenc de Bort 101.
Temperatur 41.
— auf Landhemisph. 54
— auf Wasserhemisph. 54.
— „in der Sonne" 46.
— der Sonne 38.
— des Weltraums 40.
Temperatur-Abnahme mit der Höhe 20, 55, 76.
Temperatur-Correktion beim Barometer 59.
Temperaturgang, jährl. 50.
—, tägl. 46.
Temperatur-Umkehr 56.
Thalwind 76.
Thau 110.
Thaupunkt 86, 110.
Thermographen 43.
Thermometer 41.
— -Beschirmung 45.
— -Hütte 44.
Toricelli's Versuch 10, 58.
Tornados 79.
Tromben 79.
Ueberkaltung 93.
Uebersättigung 92.
Ueberzählige Regenbogen 127.
Verdampfung 88.
Verdunstungswage 89.
Vettin 82.
Violle 34.
Violle's Actinometer 30.
Viviani 10.
Volta 105.
Wald, Einfluß auf den Niederschlag 144.
Wasser, Kreislauf 137.
Wasserdampf, Rolle in der Atmosph. 90, 137, 140.
Wellen in der Atmosphäre 65.
Wellenlängen im Sonnenspektrum 34.
Wells 110.
Wetter 128.
—, Erhaltungstendenz 133.
Wetterkarten 128.
Wetterlehre 9, 128.
Wetterleuchten 117.
Wetter-Prognosen 128.
— —, Erfolge 132.

Wetterregeln 130.
Wild's Verdunstungs-Wage 89.
Wind 68.
Windfahne 68.
Windgeschwindigkeit 68 77, 101.
—, jährl. Gang 75.
—, tägl. Gang 74.
Windrichtung 68.
Wolken 94.
— Formen 94.
— Höhe 100.
— Schweben 94.
—-Spiegel 100.
Wolny 110.

Zenker 53.
Zickzackblitze 117.
Zugstraßen der Barometer-Minima 132, 134.
Zunahme d. Gewitter 141.
— d Hagelgefahr 142.
— d. Nebel 142.
Zusammensetzung der Atmosphäre 12.
— —, Bedeutung 135.

$4 : 5 = 8 : 10$

$\frac{4}{5} = \frac{8}{10}$

Die Beschaffenheit der Luft die für das

kommende Wetter

in Frage kommt, wird wesentlich durch ihren Gehalt an Wasser bedingt. **Regen** und **Sonnenschein, Nebel, Schnee, Reif** 2c., auch **Kälte** und **Wärme** sind von der Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft abhängig.

Lambrecht's Polymeter

giebt über sämtliche Fragen, die man über die Beschaffenheit der Luft erheben kann, erschöpfende Belehrung und ermöglicht mit Hilfe der Troska'schen Wetterregeln einzig zutreffende Schlüsse auf den weiteren Verlauf des Wetters.

Das Polymeter zeigt **ohne weitere Hilfsmittel** 1. Temperatur (Thermometer aus Jenaer Glas), 2. Taupunkt, 3. Dunstdruckmaxima, 4. jeweiligen Dunstdruck, 5. Gewicht des Wassers per Kubikmeter, 6. relative Feuchtigkeit in Perzenten, 7. Differenz von Taupunkt und Temperatur, **den wichtigsten Faktor für Voraussbestimmung des Wetters**, 8. den sogenannten „Punkt der Milde" nach Dr. Fleischer.

—— Beschreibung und Anerkennungen zu Diensten. ——

Preis in einfachster Ausstattung 20 Mark.

Sämtliche in diesem Werke besprochenen Instrumente sind von mir zu den billigsten Preisen in gediegenster Ausführung zu beziehen.

Bitte Prospekte zu verlangen!

Wilh. Lambrecht, Göttingen

(Georgia Augusta)

Fabrik meteorologischer Instrumente.

Verlag v. **Ed. Hölzel** in **Wien, IV/2** Luisengasse 5.

Meteorologische Zeitschrift

herausgegeben im Auftrage der

Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie und der Deutschen meteorologischen Gesellschaft.

Redigiert von

Dr. J. Hann und **Dr. G. Hellmann**

Wien, Hohe Warte — Berlin, Met. Institut.

Die Meteorologische Zeitschrift, welche sich unbestritten zum ersten Fachorgan auf diesem Gebiete aufgeschwungen hat, erscheint in 12 Monatsheften zum Preise von Mk. 20.— pro Jahrgang.

Der neue Jahrgang der Meteorologischen Zeitschrift beginnt im Januar 1897 und werden Pränumerationen von jeder Sortimentsbuchhandlung, wie auch von der Verlagshandlung direkt entgegengenommen.

Im gleichen Verlage gelangte soeben zur Ausgabe:

Namen- und Sachregister

zu den Bänden I—XX, 1866 bis 1885 der

Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie.

Bearbeitet von

Dr. St. Kostlivý.

19 Bogen Lexikon-Format, Preis M. 4.50.

Diese hochverdienstliche Arbeit enthält nicht nur die Namen der Autoren und Referenten, sowie die wörtliche Wiedergabe der Titel der vorkommenden Artikel, sondern bietet auch ein mit Rücksicht auf den Inhalt der einzelnen Artikel eingehend verfasstes Sachregister.

−10°	2,4 gr pr. m³	— 2,28 mm
− 9°	2,65 " " "	— 2,44 " "
8°	2,9 " " "	— 2,68 " "
7°	3,15 " " "	— 2,92 " "
6°	3,4 " " "	— 3,16 " "
5°	3,65 " " "	— 3,4 " "
4°	3,9 " " "	— 3,64 " "
3°	4,15 " " "	— 3,88 " "
2°	4,4 " " "	— 4,12 " "
− 1°	4,65 }25 " " "	— 4,36 " "
± 0°	4,9 " " "	— 4,6 " "
+ 1°	5,34 }44 " " "	— 5,05 " "
+ 2°	5,78 " " "	— 5,5 " "
3°	6,22 " " "	— 5,95 " "
4°	6,66 " " "	— 6,4 " "
5°	7,1 " " "	— 6,85 " "
6°	7,54 " " "	— 7,3 " "
7°	7,98 " " "	— 7,75 " "
8°	8,42 " " "	— 8,2 " "
9°	8,86 " " "	— 8,65 " "
10°	9,3 " " "	— 9,1 " "
11	10,09 " " "	— 9,93 " "
12°	10,88 " " "	— 10,76 " "
13°	11,67 " " "	— 11,59 " "
14°	12,46 " " "	— 12,42 " "
15°	13,25 " " "	— 13,25 " "
16°	14,04 " " "	— 14,08 " "
17°	14,83 " " "	— 14,91 " "
18°	15,62 " " "	— 15,74 " "
19°	16,41 " " "	— 16,57 " "
20°	17,20 " " "	— 17,4

0,65 · 6,22
3110
3732
4,0430

6,22 : 10
= 0,62

~~3,5 : 6,22 =~~
~~3,5 : 6,22 =~~
0,5%

3,5 : 6,22
= 0,5%

10,09 : 6,22
= 1,7%

Ist die Stelle von dem Raume gleich [illegible] grösser 1,30 [illegible] entstehen.

Aeschylos' Tragödien. Deutsche Nachdichtung von Oswald Marbach. (XXXI, 432 S.) 8°. 5 M. Geb. 6 M. 10 Pf.

Bernays, Michael, Schriften zur Kritik und Litteraturgeschichte. I. Band: Zur neueren Litteraturgeschichte. (X, 454 S.) Gr. 8°. 9 M. In feinem Liebhbd. 10 M. 20 Pf.

Beyer, Prof. Dr. C., Deutsche Poetik. Theoretisch-prakt. Handbuch der deutschen Dichtkunst. Nach den Anforderungen der Gegenwart. 3 Bde. 2. Aufl. (V, XXII, 765 S., XIV, 576 S., XIII, 276 S.) Gr. 8°. 15 M. Geb. 19 M.

— **Die Technik der Dichtkunst.** Anleitung zu Vers- und Strophenbau und zur Uebersetzungskunst. 2. Aufl. (XIII, 276 S.) Gr. 8°. 3 M. Geb. 4 M. 50 Pf.

Borinski, Karl, Grundzüge des Systems der artikulierten Phonetik. Zur Revision der Principien der Sprachwissenschaft. (XI, 66 S.) Gr. 8°. 1 M. 50 Pf.

Cauer, Privatdozent Friedr., Hat Aristoteles die Schrift vom Staate der Athener geschrieben? Ihr Ursprung und ihr Wert f. d. ältere athen. Gesch. (78 S.) 8°. 1 M.

Ditfurth, Freiherr Fr. W. v., Zweiundfünfzig ungedruckte Balladen des 16., 17. und 18. Jahrhunderts. Aus fliegenden Blättern, handschriftlichen Quellen und mündlicher Ueberlieferung gesammelt und herausgegeben. (XII, 196 S.) 8°. 2 M. 80 Pf.

— **Einhundertundzehn Volks- und Gesellschaftslieder des 16.,** 17. und 18. Jahrhunderts mit und ohne Singweisen. Nach fliegenden Blättern, handschriftlichen Quellen und dem Volksmunde gesammelt und herausgegeben (XIV, 383 S.) 8°. 5 M. 60 Pf.

— **Einhundert unedierte Lieder des 16. und 17. Jahrhunderts** mit ihren zweistimmigen Singweisen. (X, 140 S.) 8°. 2 M. 80 Pf.

Flaischlen, Cäsar, Graphische Litteraturtafel. Die deutsche Litteratur und der Einfluß fremder Litteraturen auf ihren Verlauf vom Beginn einer schriftlichen Ueberlieferung an bis heute in graphischer Darstellung. 3. Tausend. Farbige Tafel. Gr. Fol. Nebst Text. (8 Sp.) 4°. Kart. 2 M.

Freiligrath, Gesammelte Dichtungen. 6 Bde. 5. Aufl. 8°. In Leinwd. geb. 13 M.

— **Nachgelassenes.** Mazeppa. Der Eggesterstein. Geb. 2 M.

Fürst, Rudolf, August Gottlieb Meißner. Eine Darstellung seines Lebens und seiner Schriften mit Quellenuntersuchungen. Mit dem Bild Meißners in Lichtdruck. Gr. 8°. (XVI, 356 S.) 6 M.

Grillparzers Ansichten über Litteratur, Bühne und Leben. Aus Unterredungen mit Adolf Foglar. 2. verb. und verm. Aufl. Gr. 8°. (VI, 71 S.) 1 M. 80 Pf, geb. 2 M. 80 Pf.

Honwalds Werke. 5 Bde. Taschenausg. 4 M. 20 Pf. Eleg. geb. 6 M. 50 Pf.

Jahresberichte f. neuere deutsche Litteraturgeschichte. Unter ständiger Mitwirkung erster Fachgelehrter und mit besonderer Unterstützung von **Erich Schmidt** herausgegeben von **Julius Elias** und **Max Osborn.** Lex. 8°.

I. Bd. [Jahr 1890] (XI, 136 u. 196 S.) 10 M., geb. 12 M.
II. Bd. [Jahr 1891] (IX, 196 u. 275 S.) 12 M., geb. 14 M.
III. Bd. [Jahr 1892] (Ber. I, 1—11; II, 1—8; III, 1—5; IV, 1—12) 23 M. 80 Pf., geb. 25 M. 80 Pf.
IV. Bd. [Jahr 1893] (Ber. I, 1—13; II, 1—7; III, 1—5; IV, 1a—11) 26 M. 80 Pf., geb. 28 M. 80 Pf.

— Einbanddecken zu jedem Band 2 M. —

Iffland's theatralische Werke. Mit Biographie. 10 Bde. Taschenausg. Eleg. geb. 10 M.

Klopstocks Werke. Mit Biographie und erläuternden Anmerkungen. Herausgeg. v. A. L. Back, Kirchenrat. 6 Bde. Kl. 8°. 8 M. Eleg. geb. 11 M.

Klopstocks Oden. Kritisch-historische Ausgabe. Mit Unterstützung des Klopstock-Vereins und in Verbindung mit **Jaro Pawel** herausgegeben von Franz Muncker. Gr. 8°. (XVIII, 238; VIII, 184 S.) 12 M., geb. in Halblederbd. 14 M.

Klopstocks Oden (mit den geistlichen Liedern und Epigrammen). Mit erklärenden Anmerkungen von A. L. Back. 2 Teile in einem Band. 3 M. 30 Pf.

Klopstocks Oden. Taschenausgabe. 1 M. 40 Pf.

— **Messias.** Kl. 8°. 2 Teile in einem Bande. 2 M. 60 Pf.

Klopstock, Geschichte seines Lebens und seiner Schriften von Franz Muncker. Mit Klopstocks Bildnis in Lichtdruck. Neue Ausgabe in 1 Band. 1893. Gr. 8°. (X, 566 S.) 12 M., geb. in Halblederbd. 14 M.

Koch, Max, Geschichte der deutschen Litteratur. Geschenkausgabe. 8°. (278 S.) Geb. in Leinw. 3 M.

Lessings Werke.

Göschen'sche Original-Ausgaben.

Lessings sämtliche Schriften. Historisch-kritische Ausgabe von **Lachmann-Muncker.** 3. Auflage vollständig in 15 Bänden gr. 8° geh. je 4 M. 50 Pf., einf. Halbleder 6 M., fein Halbleder 7 M. Bis 1896 erschienen Band I—XII.

Bibliothekausgabe gr. 8°. 12 Halblederbände 33 M.
—"— " 6 Halblederbände 26 M.
—"— " 12 bill. Liebhaberbde. 24 M.

Kabinettausgabe 8°. 6 Halblederbände 15 M.
—"— " 6 Liebhaberbände 12 M.
—"— " 6 feine Leinwandbände 10 M.

Billige 8°-Ausgabe 6 Bände in feinem Halblederband 7 M. 60 Pf.
—"— in eigenartig vornehmem Liebhaberband 6 M. 60 Pf.

Lessings ausgewählte Werke 2 Bände in Prachtband 2 M. 80 Pf.

Lessings Meisterdramen, vornehmer Einband 3 M.

Lessings hamburg. Dramaturgie. 8°. 1 M. 20 Pf.

Liederdichter, Deutsche, des 12.—14. Jahrhunderts. Eine Auswahl v. **K. Bartsch.** 3. Aufl., besorgt v. W. Golther. Gr. 8°. (LXXXVI, 407 S.) 5 M., in altdeutschem Bibliotheksband 6 M.

Deutsche Litteraturdenkmale

des 18. u. 19. Jahrhunderts, herausg. v. August Sauer.

Verzeichnis der bis jetzt erschienenen Nummern:

1. **Klinger, F. M., Otto,** Trauersp. Her. v. B. Seuffert. VIII, 108 S. 1881. 90 Pf.
2. **Wagner, H. L., Voltaire am Abend seiner Apotheose.** Her. v. B. Seuffert. XI, 19 S. 1881. 40 Pf.
3. **Müller,** Maler, **Fausts Leben.** Her. v. B. Seuffert. XXVI, 116 S. 1881. 1 M. 10 Pf.
4. **Gleim, J. W. L., Preuss. Kriegslieder** v. e. Grenadier. Her. v. A. Sauer. XXXVII, 44 S. 1882. 70 Pf.
5. **Goethe, Faust,** ein Fragm. Her. v. B. Seuffert. XV, 89 S. 1882. 80 Pf.
6. **Wieland, C. M., Hermann.** Hr. v. F. Muncker. XXX, 116 S. 1882 1 M. 20 Pf.
7. 8. **Frankfurt. Gelehrte Anzeigen vom Jahre 1772.** (Eingel. v. Wilh. Scherer, her. v. B. Seuffert.) Erste Hälfte. S. 1—352. 1882. 2 M. 80 Pf. Zweite Hälfte m. Einleitung u. Register. S. 353—700 u. CXXIX S. 1883. 3 M. 80 Pf., zus. 6 M. 60 Pf.

9 **Bodmer, J. J., Karl v. Burgund,** e. Trauersp. (n. Aeschylus). Her. v. B. Seuffert. XII, 26 S. 1883. 50 Pf.
10 **Hagedorn, F. v., Versuch einiger Gedichte.** Her. v. A. Sauer. XI. 99 S. 1883. 90 Pf.
11. **Klopstock, F. G., Der Messias,** erster, zweiter u. dritter Gesang. Her. v. F. Muncker. XXXI, 84 S 1883. 90 Pf.
12. **Bodmer, J. J., Vier kritische Gedichte.** Her. v. J. Bächtold. XLVII, 110 S. 1883. 1 M. 20 Pf.
13. **Wagner, H. L., Die Kindermörderin,** e. Trauersp. n. Szenen aus den Bearbeitgn. K. G. Lessings u. Wagners. Her. v. Erich Schmidt. X, 116 S. 1883. 1 M.
14. **Goethe, Ephemerides und Volkslieder.** Her. v. Ernst Martin. XX, 47 S. 1883. 60 Pf.
15. **Brentano, C., Gust. Wasa.** Her. v. J. Minor. XIV, 136 S. 1883. 1 M. 20 Pf
16. **Friedrich d. Gr., De la littérature allemande.** Her. v. L. Geiger XXX, 37 S. 1883. 60 Pf.
17. 18. 19. **Schlegel, A. W., Vorlesgn. über schöne Litteratur u. Kunst.** 1884. Her. v. J. Minor. Erster Teil: Die Kunstlehre. LXXII 370 S. 3 M. 50 Pf. Zweiter Teil: Geschichte der klass. Litt. XXXII. 396 S. 3 M. 50 Pf. Dritter Teil: Gesch. der romant. Litt. (nebst Personenreg. zu d. 3 Teilen) XXXIX, 252 S. 2 M. 50 Pf., zus. 9 M 50 Pf
20 **Winckelmann, J. J., Gedanken üb. d. Nachahmg. d. griech. Werke in d. Malerei u. Bildhauerk.** Erste Ausg. 1755 mit Oesers Vignetten Eingel. v. L. v. Urlichs, her. v. B. Seuffert. X, 44 S. 1885. 70 Pf
21. **Goethe, Die guten Frauen.** Mit Nachbildg. d. Originalkupfer. Her v. B. Seuffert. XI, 27 S. 1885. 70 Pf.
22. **Pyra, J. J. u. S. G. Lange, Freundschaftl. Lieder.** Herausg. v. A Sauer. L, 167 S. 1885. 1 M. 80 Pf.
23. **Moritz, K. Ph., Anton Reiser,** e. psychol. Roman. Her. v. L. Geiger XXXVIII, 443 S. 1886. 3 M. 80 Pf.
24. **Iffland. A. W., Ueber m. theatral. Laufbahn.** Her. v. H. Holstein CVI, 130 S. 1886. 2 M.
25. **Meyer, Heinr., Kleine Schriften z Kunst.** Her. v. P. Weizsäcker CLXIX, 258 S. 1886. 4 M. 20 Pf.
26. **Schlegel, Joh. Elias, Aesthetische u. dramaturgische Schriften** Her. v. J. v. Antoniewicz. CLXXX, 226 S. 1887. 4 M.
27. **Heine, Buch der Lieder** nebst ein. Nachlese n. d. ersten Druck. od Handschr. Her. v. E. Elster. CLIV, 255 S. 1887. 4 M.
28. **Lessing, K. G., D. Mätresse,** Lustspiel. Her. v. E. Wolff. XX 113 S. 1887. 1 M. 30 Pf.
29. 30. **Briefe üb. Merkwürdigkeit d. Litteratur.** Her. v. A. v. Weilen 29. Erste u. zweite Samml. S. 1—187. 1888. 1 M. 80 Pf. 30. Dritte Samml. nebst Einleitg. CXLIX, S. 188—367. 1889. 4 M., zus. 5 M. 80 Pf.
31 **Moritz, K. Ph., Ueber d. bild. Nachahmung des Schönen.** Her. v. S Auerbach. XLV, 45 S. 1888. 90 Pf.
32. **Leisewitz, J. A., Julius v. Tarent u. die dramatischen Fragmente.** Her. v R. M. Werner. LXVIII, 134 S. 1889. 2 M.
33—38 **Uz, sämtl poet. Werke.** Her. v. A. Sauer. CIX, 422 S. 1890. 8 M. 40 Pf.
39. **Das Faustbuch des Christl. Meynenden.** Nach dem Druck von 1725 her. v. Siegfr. Szamatólski. Mit 3 Portr. XXVI, 30 S. 1891. 1 M. 60 Pf
40 41. **Von deutsch. Art u. Kunst.** Einige flieg. Bl. Her. v. H. Lambel LVII, 124 S. 1892. 3 M. 50 Pf.
42. **Götz, Joh. Nic., Gedichte.** Her. v. C. Schüddekopf. XXXVI, 89 S. 1893. 2 M. 40 Pf.
43—45. **Goezes Streitschriften gegen Lessing.** Her. v. Erich Schmidt VI, 208 S. 1893. 3 M. 30 Pf.
46—47. **Forster, Georg, Ausgew. kl. Schriften.** Her. v. A. Leitzmann XX, 165 S. 1894. 3 M.
48. **Thümmel, M. A. v., Wilhelmine.** Her. v. Rich. Rosenbaum XII, 54 S. 1894. 1 M. 20 Pf.

49—50. **Göttinger Musenalmanach auf 1770.** Her. v. Karl Redlich. 110 S. 1894. 2 M. 50 Pf.

51. **Thomasius, Christian, Von Nachahmung der Franzosen.** Nach den Ausgaben v. 1687 u. 1701. Her. v. A. Sauer. IX, 50 S. 1894. 60 Pf.

52—53. **Göttinger Musenalmanach auf 1771.** Her. v. Karl Redlich. IV, 100 S. 1895. 1 M. 20 Pf.

54—55. **Chamisso, Adelbert v., Fortunati Glückseckel u. Wunschhütlein.** Ein Spiel (1803). Aus d. Handschr. zum ersten Male her. v. E. F. Kossmann. XXXVI, 68 S. 1896. 1 M. 20 Pf.

56—57. **Borkenstein, Heinrich, Der Bookesbeutel.** Lustspiel (1742). Her. v. F. F. Heitmüller. (XXX, 73 S. u. 1 Stammbaumtafel.) 1 M. 20 Pf.

58—62. **Humboldt, Wilh. v., Sechs ungedruckte Aufsätze üb. d. klass. Altertum.** Her. v. A. Leitzmann. LIV, 214 S. 1896. 3 M.

Alle Nummern auch gebunden. Preis des Einbandes, braun Lwd. mit Rotschnitt, 80 Pf.

Meringer, Rud. u. Karl Mayer, Versprechen und Verlesen. Eine psychologisch-linguistische Studie. Gr. 8°. (XIV, 204 S.) 4 M. 50 Pf.

Mörike, Ges. Schriften. 4 elegante Leinwandbände. Bd. I. **Gedichte.** 10. Aufl. Idylle vom Bodensee. Bd. II. **Erzählungen.** 2. Aufl. Hutzelmännlein, Mozart auf der Reise nach Prag u. s. w. III/IV. **Maler Nolten.** Roman. 4. Auflage. 2 Bände. Jeder Band eleg. geb. 5 M.

— **Mozart auf der Reise nach Prag.** Novelle. 5. Auflage. Vornehmer Leinwandband mit Rotschnitt 2 M. 50 Pf.

— **Historie von der schönen Lau.** Mit 7 Umrißzeichnungen von Mor. v. Schwind. 4°. Prachtbd. 5 M.

Mörike-Storm-Briefwechsel. Herausgeg. v. Jakob Bächtold. Gr. 8°. (74 S.) 1 M. 80 Pf., geb. 2 M. 80 Pf.

Ossians Gedichte aus dem Gälischen im Sylbenmaße des Originals von Ch. W. Ahlwardt. 4. Aufl. 1861. 3 Bde. (309 S., 336 S., 414 S.) 16°. 3 M.

Platen, Aug. v., Gedichte. In neuer volkstümlicher Auswahl. 1887. (VIII, 144 S.) 8°. Geb. 1 M. 20 Pf.

Reuling, C., Die komische Figur in den wichtigsten deutschen Dramen bis zum Ende des 17. Jahrh. Gr. 8. (III, 181 S.) 4 M.

Thümmels Werke. Mit Biographie. 4 Bde. Kl. 8°. 6 M. Eleg. geb. 7 M.

Vischer-Erinnerungen. Aeußerungen und Worte von Ilse Frapan. Ein Beitrag zur Biographie Fr. Th. Vischers. 2. Aufl. 1889. (VIII, 119 S. mit Vischers Porträt in Lichtdruck.) 8°. 3 M. Geb. 4 M.

Wieland, C. M., Oberon. Illustr. von Gabriel Max und G. Closs. Neue Taschenausg. Farbiger Prachtband. 4 M.

Ziegler, Professor Dr. Theob., Die Fragen der Schulreform. Zwölf Vorlesungen. 1891. (VII, 176 S.) 8°. 2 M. 50 Pf.

— **Die soziale Frage eine sittliche Frage.** 5. Aufl. 1895. (III, 183 S.) 8°. 2 M. 50 Pf.

— **Das Gefühl.** Eine psychol. Untersuchung. 2. Aufl. 1893. (328 S.) Gr. 8°. 4 M. 20 Pf. Geb. 5 M. 20 Pf.

— **Notwendigkeit und Berechtigung des Realgymnasiums.** Vortrag gehalten in der Delegiertenversammlung d. allgem. dtsch. Realschulmännervereins zu Berlin am 28. März 1894. 1894. (31 S.) Gr. 8°. 50 Pf.

— **Friedrich Theodor Vischer.** Vortrag gehalten im Verein f. Kunst u. Wissenschaft zu Hamburg. 1893. (47 S.) Gr. 8°. 1 M. 20 Pf.

— **Der deutsche Student am Ende des 19. Jahrhunderts.** Vorlesungen gehalten im Wintersemester 1894/95 an der Kaiser-Wilhelms-Universität zu Straßburg 6. Aufl. 1896. (240 S.) 8°. Cart. 3 M. 50 Pf.

Staatsanzeiger: Das 20. Bändchen, das einen **Abriß der deutschen Grammatik** und im Anhange eine **kurze Geschichte der deutschen Sprache** enthält, bietet auch eine gute Uebersicht der deutschen Sprachlehre und deutschen Sprachgeschichte. Die **klare** und **knappe** Darstellung giebt auf engem Raum einen **überraschend reichen Stoff**, sie ist mehr ins Einzelne eingehend, als das kleine Bändchen erwarten läßt.

Pfälz. Kurier: Auch in der **griechischen Altertumskunde von Dr. R. Maisch** ist die Darstellung concis und, ohne den wissenschaftlichen Charakter zu verleugnen, populär im besten Sinne des Wortes.

Lehrer-Zeitung: Wenn eine kurzgedrängte **physikalische Geographie** aus der Feder eines so tüchtigen Fachmannes, wie es Prof. Günther in München ist, erscheint, so ist von vornherein zu erwarten, daß das nur etwas Gutes sein kann. Jeder, der das Buch liest, wird sehen, daß er sich in dieser Erwartung nicht getäuscht hat.

Ausland: **Kaum je ist mir ein Buch zu Gesicht gekommen**, das wie **Rebmann's „der menschliche Körper** und **Gesundheitslehre"** auf so kleinem Raum ein so klares Bild von dem Bau und den Thätigkeiten des menschlichen Körpers geboten hätte. Ich stehe nicht an, das Werkchen als ein **für den Unterricht höchst brauchbares** zu bezeichnen.

Littbl. d. dtsch. Lehrerztg.: Die beiden Bändchen **„Hartmann von Aue 2c."** und **„Walther von der Vogelweide"** geben eine Auswahl des **Besten aus dem Besten** unserer **altklassischen deutschen Litteratur** im ursprünglichen Text und gewähren somit für ein Billiges einem jeden Gebildeten die Möglichkeit, die alten Perlen unserer Litteratur in ihrer kernigen, kraftvollen Ursprache selbst kennen zu lernen.

Allg. Zeitung (München): Ellinger bietet in **„Kirchenlied und Volkslied**, geistliche und weltliche Lyrik des 17. und 18. Jahrhunderts bis auf Klopstock" den Schülern ein Handbuch, das den Verständigeren für den deutschen Unterricht gewiß **hochwillkommen** ist.

Berl. philolog. Wochenschrift: **Steuding, griechische und römische Mythologie.** Die überaus schwierige Aufgabe, den wesentlichsten Inhalt auf nur 140 Kleinoktavseiten übersichtlich und gemeinverständlich darzustellen, ist von dem Verfasser des vorstehenden, in der bekannten Art der „Sammlung Göschen" ausgestatteten Büchleins **in höchst anerkennenswerter Weise gelöst worden.** St. vertritt eine **kerngesunde, von jeder Einseitigkeit freie mythologische Richtung** und ist redlich beflissen gewesen, auch die Forschungsresultate der neuesten Zeit seinem Leitfaden einzuverleiben.

Zeitschr. f. dtsch. Unterricht: Die **„Althochdeutsche Litteratur"** Schaufflers ist eine **hocherfreuliche Gabe**; sie beruht überall auf den neuesten Forschungen und giebt im Anschluß an Bramme, Sievers, Paul, Müllenhoff und Scherer u. a. überall das Wichtigste und Wissenswerteste in knappster Form.

Natur: Es ist geradezu erstaunlich, wie es der rühmlichst bekannte Verlag ermöglicht, **für so enorm billige Preise** so **vorzüglich ausgestattete Werkchen** zu liefern. Das vorliegende Bändchen bringt in **knapper** und verständlicher Form das Wissenswerteste der **Mineralogie**

zum Ausdruck. Saubere Abbildungen erleichtern dem Schüler, für den es in erster Linie bestimmt ist, das Verständnis.

Globus: Es ist **erstaunlich, wieviel diese kleine Kartenkunde bringt**, ohne an Klarheit zu verlieren, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß viele Abbildungen den Raum stark beengen. **Vortrefflich wird** die **Kartenprojektionslehre** und die **Topographie geschildert.**

Nationalzeitg.: Es ist **bis jetzt in der deutschen Litteratur wohl noch nicht dagewesen**, daß ein Leinwandband von fast 300 Seiten in vorzüglicher Druck- und Papierausstattung zu einem Preis zu haben war, wie ihn die „Sammlung Göschen" in ihrem neuesten Bande, **Max Koch's Geschichte der deutschen Litteratur** für den Betrag **von sage achtzig Pfennige** der deutschen Leserwelt bietet.

Prakt. Schulmann: Ein **Meisterstück kurzen und bündigen**, und doch **klaren und vielsagenden Ausdrucks** wie die „Deutsche Litteraturgeschichte" von Prof. M. Koch ist auch die vorliegende **„Deutsche Geschichte im Mittelalter".**

Natur: In der **Chemie** von Dr. Klein empfängt der Schüler fast mehr, wie er als Anfänger bedarf, mindestens aber so viel, daß er das Wissenswürdigste als unentbehrliche Grundlage zum Verständnisse der Chemie empfängt. . . Das ist sicher mehr, als man für 80 Pfg. erwarten konnte, und vertritt zugleich das schöne Prinzip der Engländer, durch wohlfeile kurz gefaßte kleine Leitfäden das Volk zu bilden.

Kunst f. Alle (München): K. Kimmich behandelt in seinem Bändchen, „Zeichenschule" benannt, **in knapper, kerniger, sachlich-zielbewußter Form** das weite Gebiet des bildmäßigen Zeichnens und Malens. In der übermäßig fruchtbaren Produktion kunstgewerblicher Litteratur ist Kimmichs Zeichenschule auf diesem Gebiet **weitaus das Beste**, das bisher geboten wurde. Gleich nutzbringend und in reichstem Maße bildend für Lehrer, Schüler und Liebhaberkünstler, möchte ich das **wirklich vorzügliche Werk** mit warmen anerkennenden Worten der Einführung in Schule, Haus und Werkstatt zugänglich machen. Die Ausstattung ist dabei eine so vornehme, daß mir der Preis von 80 Pfennigen für das gebundene Werk von 138 Seiten kl. 8° wirklich **lächerlich billig** erscheint. Nicht weniger als 17 Tafeln in Ton-, Farben- und Golddruck, sowie 135 Voll- und Textbilder illustrieren den **äußerst gesunden Lehrgang** dieser Zeichenschule in **feinfühlender Weise.**

Dtsch. Lyriker: Eine neue **Poetik**, die in engem Rahmen von großen Gesichtspunkten aus das weite Gebiet des poetischen Schaffens überschaut. Das nicht genug zu empfehlende Buch bietet eine **Fülle** neuer Resultate intimer Kunstbetrachtung und **übertrifft in dieser Hinsicht die Unzahl bändereicher ähnlicher Werke.**

Schwäb. Merkur: **Prof. G. Mahler in Ulm** legt **uns eine** Darstellung der **ebenen Geometrie** vor, die bis zur Ausmessung des Kreises einschließlich geht. Besondere Sorgfalt ist der **Auswahl und** Anordnung der Figuren zu teil geworden, **deren saubere Ausführung** in 2 Farben angenehm berührt.

91-B23190

Globus: Hoernes, **Urgeschichte.** Der bewährte Forscher auf **vorgeschichtlichem Gebiete** giebt hier in knappster Form die lehrreiche **Zusammenstellung** des Wissenswertesten der Urgeschichte. **Vortrefflich geeignet zur Einführung und zum Ueberblick.**

Preußische Schulztg.: Die Schrift von **Hommel** „**Geschichte des alten Morgenlandes**" kann nur **warm empfohlen** werden, denn der Verfasser hat es verstanden, auf gedrängtem Raume einen auf **den** neuesten Forschungen beruhenden trefflichen Abriß der Geschichte **der alten Kulturvölker** Asiens und Aegyptens zu liefern.

Lpzgr. Ztg. (Wissensch. Beil.): „Die Pflanze" **von Dr. E. Dennert** können wir bestens empfehlen. In kürzester, knappester, **sehr klarer und verständlicher Form** weiß sein Verfasser alles Wissenswerteste über **den** inneren und äußeren Bau und über die Lebensverrichtungen der **Pflanze** zur Anschauung zu bringen, wozu seine **ganz vortrefflichen, selbstgezeichneten Textabbildungen** außerordentlich viel beitragen helfen.

Schwäb. Merkur: Die Römische Altertumskunde von **Dr. Leo Bloch** behandelt kurz und klar die Verfassungsgeschichte, die Staatsgewalten, Heerwesen, Rechtspflege, Finanzwesen, Kultus, das Haus, **die** Kleidung, die Bestattung und andere öffentliche und häusliche Einrichtungen der Römer .... Viele Gebildete, nicht bloß die Schüler im eigentlichen Sinne, werden es froh begrüßen, sich in diesem **vortrefflichen, mit Illustrationen versehenen Lehrmittel** mit leichter Mühe Rats **erholen** zu können.

Weimarsche Zeitg.: **Waltharilied.** Mit dieser Uebersetzung wird [illegible] Litteraturfreunden längst **ersehnt**[illegible]en Uebersetzung ist zu **verlange**[illegible] **wortgetreu**, ohne dem **Urtext**, [illegible]hun, den Geist des Originals klar [illegible]**rderung gerecht zu werden**, hat [illegible]**den.**

[illegible].: Swoboda, **Griech. Geschich**[illegible]rfassers bürgt dafür, daß wir nicht [illegible]ns haben, **überall zeigen sich die S**[illegible]ht insbesondere auch **darin**, daß [illegible]gen aus den verschiedenen Ansch[illegible]uheben und in seiner **Darstellu**[illegible] Sicherste erscheint.

[illegible]ulpraxis. Es wird **in gedrän**[illegible]**durchdachter, den neuesten pädag**[illegible]**ender Inhalt** geboten **und für den**, der tiefer eindringen will, ist gesorgt durch reichhaltige Litteraturnachweise.

R. W. MEYER

7/40 7773 37.3 735,8